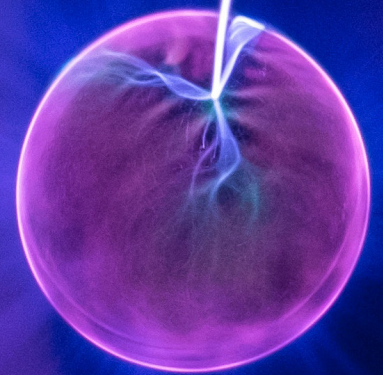


AÑO 2, No. 2, ENERO-DICIEMBRE 2018

# REVISTA DIGITAL INNOVACIÓN EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y EDUCACIÓN (ICTE)



CIENCIAS  
DE LOS  
ALIMENTOS

INGENIERÍA  
EN  
ALIMENTOS

INGENIERÍA  
QUÍMICA


CIENCIAS  
QUÍMICAS

CIENCIAS  
EDUCACIÓN

REVISTA INNOVACIÓN EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y EDUCACIÓN (ICTE) No. 2, Año 2, enero - diciembre 2018, es una publicación anual editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), carretera Cuautitlán-Teoloyucan Km 2.5, San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, C.P. 54714, Estado de México. Tel. 5558173478, <http://masam.cuautitlan.unam.mx/RevistaICTE/>, [revista.ict@gmail.com](mailto:revista.ict@gmail.com). Editor responsable: Dra. María Gabriela Vargas Martínez. Certificado de Reserva de Derechos de Autor número: 04-2022-032315542200-102, ISSN en trámite ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Dra. María Gabriela Vargas Martínez, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo uno, Av. 1 Mayo S/N, Col. Santa María Las Torres, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, fecha de última modificación: 19 de diciembre de 2018.

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista de los árbitros, del Editor o de la UNAM.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.





# COMITÉ CIENTÍFICO

Dra. Alma Luisa Revilla Vázquez

Dra. María Andrea Trejo Márquez

L. E. Jorge Bello Domínguez

M. en P. Jorge Luis Rico Pérez

Dr. Julio César Morales Mejía

Dra. María Eugenia Ramírez Ortíz

Dra. María Gabriela Vargas Martínez

Dr. Ricardo Paramont Hernández García

M. en C. Selene Pascual Bustamante

M. en E. María Teresa Ylizaliturri Gómez Palacios

**DISEÑO EDITORIAL**  
Fabiola Carmona Rivero

## CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS

CONCENTRACIÓN DE CAFÉINA EN BEBIDAS DE ALTO CONSUMO EN LA POBLACIÓN MEXICANA

EXTRACCIÓN DE CAFÉINA EN BEBIDAS ENERGÉTICAS COMERCIALES

CAPACIDAD FUNGICIDA DEL QUITOSÁN Y ACEITES ESENCIALES CONTRA HONGOS PATÓGENOS DEL LIMÓN MEXICANO

EVALUACIÓN DEL DAÑO OCASIONADO POR EL BARRENADOR MAYOR DE LOS GRANOS EN SEMILLAS DE MAÍZ TRATADAS CON EXTRACTOS DE GOBERNADORA Y AJENJO.

ESTUDIO DE LOS COMPONENTES DE NATURALEZA POLISACÁRIDA EN RAÍZ DE SECHIUM EDULE (CHINCHAYOTE)

X°CONTROL DE LA ANTRACNOSIS Y MAS VIDA ÚTIL DEL AGUACATE CON RECUBRIMIENTO DE QUITOSÁN MEJORADO

TRATAMIENTO DE NEJAYOTE CON OPUNTIA FICUS-INDICA

OBTENCIÓN DE POLVO DE JAMAICA (HIBISCUS SABDARIFFA)

ANÁLISIS NUTRIMENTAL DEL ACEITE PROVENIENTE DE SEMILLAS DE LA FAMILIA DE LA FAMILIA TAXONÓMICA ROSACEAS, ESPECIES COMERCIALES Y ENDEMICAS

APROVECHAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE JÍCARO (CRESCENTIA ALATA) PARA LA ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA FUNCIONAL: EVALUACIÓN QUÍMICA Y SENSORIAL

RECUPERACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DEL SUERO DE LECHE CON QUITOSÁN

DISCRIMINACIÓN DE TEQUILAS MIXTOS Y 100% AGAVE MEDIANTE RECONOCIMIENTO DE PAUTAS SUPERVISADAS A PARTIR DE DATOS FT-MIR

## INGENIERÍA EN ALIMENTOS

DIFERENCIACIÓN DE TEQUILAS AUTÉNTICOS Y DESTILADOS DE AGAVE POR TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADAS A PARTIR DE DATOS DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE INFRARROJO MEDIO (FT-MIR).

EFFECTO DEL ESCALDADO EN EL SECADO DE MANZANA VARIEDAD GOLDEN DELICIOUS.

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS DE UN ADEREZO DE CEBOLLA Y JENGIBRE

COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO DE YOGUR BATIDO ELABORADO CON FRUCTANOS Y JARABE DE AGAVE

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DEL FRUTO DEL CAFÉ Y CARACTERIZACIÓN DE SUS POLIFENÓLES POR ESPECTROFOTOMETRÍA Y ELECTROFORESIS CAPILAR

CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS DE SEMILLA DE GUAYABA MEXICANA PARA GENERAR ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE APROVECHAMIENTO COMO INGREDIENTES FUNCIONALES EN ALIMENTOS.

ATRIBUTOS FÍSICOS Y TEXTURALES DE PAN DE CAJA SIN GLUTEN ELABORADO CON GOMAS Y ALMIDÓN Y HOJUELA DE PAPA.

EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE LA EVAPORACIÓN AL VACÍO Y PASTEURIZACIÓN POR MICROONDAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE JUGOS CÍTRICOS

COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE MEZCLAS: HARINA DE TRIGO-ALMIDÓN NATIVO DE BANANO CAVENDISH DESTINADAS PARA PANIFICACIÓN

## CIENCIAS BIOLÓGICAS

ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA EN UN REACTOR ANAEROBIO DE TIPO UASB

ALGORITMO DE ACTUACIÓN FARMACÉUTICA ENFOCADO A LA PREVENCIÓN DE INTERACCIONES FARMACOLÓGICAS Y MONITORIZACIÓN DE TOXICIDAD DEL METROTEXATO EN CÁNCER

VARIACIONES DE LA REGIÓN CONTROL DEL MITOGENOMA EN OVINOS DOMÉSTICOS DEL ESTADO DE MÉXICO

EFFECTO DE LA ALIMENTACIÓN DE DIÓXIDO DE TITANIO GRADO ALIMENTICIO (E171) EN ÓRGANOS DE DESARROLLO ESPERMÁTICO

EFFECTO HIPOLIPEMIANTE DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE PRUNUS SERÓTINA VAR. CAPULÍ EN MODELO DE RATON DE DIABETES MELLITUS TIPO-1.

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE RICINUS COMMUNIS

IDENTIFICACIÓN MOLECULAR DE CITOMEGALOVIRUS HUMANO EN RECIÉN NACIDOS PREMATUROS FALLECIDOS Y CON DAÑO EN TEJIDO PULMONAR

IMPORTANCIA DE LA CIENCIAS QUÍMICAS COMO ANTECEDENTE EN EL DESARROLLO DE LOS HIPOGLICEMIANTES Y ANTIHIPERGLICEMIANTES MODERNOS, REVISIÓN

LODOS RESIDUALES Y RESTOS DE JARDINERÍA DE LA FES ACATLÁN COMO SUSTRATOS PARA LOMBRICOMPOSTAJE Y DESARROLLO DE LOMBRIZ (EISENIA FOETIDA)

EFFECTO DEL BATIL-ALCOHOL COMO MODULADOR DE LA ABSORCIÓN TRANSDÉRMICA DE AVOBENZONA

DISEÑO, DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE UN IMPLANTE SUBDÉRMICO DE DEXAMETASONA.

EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE NUEVOS COMPUESTOS DERIVADOS DE BENZIMIDAZOLES, HIDRAZIDAS, PIRAZOL Y PIRIDAZINA, FRENTE A ESCHERICHIA COLI.

PREPARACION Y CARACTERIZACION DE COMPLEJOS DE INCLUSIÓN OFLOXACINO- $\beta$ -CICLODEXTRINAS

DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UN MATRIZ POLIMÉRICA TERMOSENSIBLE CONTENIENDO UN SISTEMA SUBMICRÓNICO CARGADO CON UNA MEZCLA DE FACTORES DE CRECIMIENTO DESTINADA AL TRATAMIENTO DE HERIDAS CRÓNICAS

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE UNA PREPARACIÓN SEMISÓLIDA EN FORMA DE GEL CARGADA DE CAFÉINA PARA USO ANTIINFLAMATORIO.

OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE CLOTRIMAZOL Y ACETATO FTALATO DE CELULOSA CON POTENCIAL APLICACIÓN VAGINAL

INCLUSIÓN DE LA TETRAFENILPORFIRINA EN LIPOSOMAS ELÁSTICOS PARA SU LIBERACIÓN TRANSDÉRMICA

EVALUACIÓN DEL GRADO DEL ERITEMA IN VIVO DE UNA MICROEMULSIÓN PLACEBO

## CIENCIAS QUÍMICAS

ESPECTROSCOPÍA FT-IR Y TÉCNICAS NO SUPERVISADAS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE TEQUILAS MIXTOS Y 100% AGAVE

DETERMINACIÓN DE SUBSALICILATO DE BISMUTO EN MEDICAMENTOS MEDIANTE SU CURVA DE CALIBRACIÓN Y ADICIONES PATRÓN EMPLEANDO LA TÉCNICA DE ESPECTROFOTOMETRÍA VISIBLE Y TIUREA COMO RECTIVO CROMOGENICO

SUSTITUCIÓN DE POTENCIÓMETRO POR MULTÍMETRO Y ELECTRODO CONVENCIONAL POR MICROELECTRODO ALTERNATIVO EN VALORACIÓN POTENCIOMÉTRICA DE HALOGENUROS

APLICACIÓN DE TÉCNICAS QUIMIOMÉTRICAS SUPERVISADAS (CURVAS Y FUNCIONES DE POTENCIA) A PARTIR DE DATOS DE FT-MIR PARA LA AUTENTIFICACIÓN DE TEQUILAS

EFFECTO DEL ENCALADO EN JALES MINEROS

OPTIMIZACIÓN DE ELECTRODOS DE PLATINO PARA LA MEDICIÓN DE POTENCIAL DE REACCIONES DE OXIDO REDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA SUSTITUCIÓN DEL METAL POR GRAFITO

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO QUÍMICO-FARMACOLÓGICO DE LA ESPECIE BACCHARIS SALICIFOLIA (RUÍZ & PAV.) PERS. (JARILLA DE CASTILA) DE LA LOCALIDAD DE SAN ANTONIO MATLAHUACALES, CHIGNAHUAPAN, PUEBLA

COMPARACIÓN DE LA DETERMINACIÓN DE NARINGINA POR ELECTROFORESIS CAPILAR CON 3 MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS EN CITRUS PARADISI

OBTENCIÓN DE LAS HUELLAS DIGITALES DEL EXTRACTO METANOLICO Y ACEITE ESENCIAL DE LA PLANTA AGASTACHE MEXICANA SSP. XOLOCOTZIANA (TORONJIL BLANCO), UTILIZANDO LA TÉCNICA CROMATOGRÁFICA DE CAPA FINA DE ALTA RESOLUCIÓN

NANOTUBOS DE HALOISITA MAGNÉTICOS CON INCREMENTO EN SU ÁREA SUPERFICIAL PARA LA OXIDACIÓN DE ALCOHOLES BENCÍLICOS EN MEDIO ACUOSO

ÓXIDOS DE HIERRO SOPORTADOS EN UNA BENTONITA ACTIVADA COMERCIAL Y SU EVALUACIÓN CATALÍTICA EN LA OXIDACIÓN DEL ALCOHOL 4-METOXIBENCÍLICO

LA ELECTROFORESIS CAPILAR EN LA DETERMINACIÓN DE LOS POLIFENOLES DEL EXTRACTO HIDROALCOHÓLICO DE MARRUBIO

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE POLIURETANOS BIODEGRADABLES

REMOCIÓN DEL 2,4-D MEDIANTE RESIDUOS DE CAFÉ

VALIDACIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE BETAMETASONA EN ESTUDIOS DE PERMEACIÓN EN PIEL

DETERMINACION DE CARBONATO DE CALCIO (PRINCIPIO ACTIVO ) EN MEDICAMENTOS GENERICOS UTILIZANDO VALORACIÓN POTENCIOMETRICA POR RETROCESO POTENCIOMETRÍA

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE RHUS MICROPHYLLA, "LIMILLA", PRODUCIDA EN MICHOACÁN DE OCAMPO

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE UN MATERIAL DEL TIPO COMPUESTO PARTIENDO DE UN RESIDUO LIGNOCELULÓSICO Y UN DENDRÍMERO DE POLIAMIDOAMINA (PAMAM).

ANÁLISIS DE UNA MEZCLA BINARIA: DETERMINACIÓN SIMULTANEA DE CAFÉINA Y ÁCIDO SALICÍLICO EN COMPRIMIDOS MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA UV

CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDO BENZOÍCO Y ÁCIDO SALICÍLICO EN UNA FORMULACIÓN DÉRMICA MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS DE ALTA RESOLUCIÓN

## EDUCACIÓN

CREENCIAS O ERRORES AL ENSEÑAR MATEMÁTICAS

¿QUÉ SON LAS TIC PARA EL NATIVO DIGITAL?

CONSIDERACIONES HISTÓRICAS, SOCIALES Y ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA SALUD HUMANA Y EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DEL PERSONAL DEL AREA DE LA SALUD.

DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO INTERACTIVO PARA LEM V ALIMENTOS: DESHIDRATAION OSMOTICA Y REHIDRATAION.

IMPLEMENTACIÓN DE UN AULA VIRTUAL COMO APOYO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA MATERIA DE LABORATORIO DE CIENCIA BÁSICA I

PROPUESTA DE UNA PRÁCTICA DE LABORATORIO DE QUÍMICA ORGÁNICA EN EL TEMA DE POLÍMEROS

RECICLADO DE UNICEL

PROCESO DE DISEÑO EDITORIAL DE UN MATERIAL CIENTÍFICO: TÉCNICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS

DIFUSIÓN DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS

APLICACIÓN INTERACTIVA PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS RAZONES FINANCIERAS.

LA ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LAS FINANZAS CORPORATIVAS A TRAVÉS DE LAS FINANZAS PERSONALES

DESARROLLO DE MATERIAL DIGITAL COMO APOYO PARA EL APRENDIZAJE DEL TEMA DE EQUILIBRIO QUÍMICO EN MATERIAS DE LOS PRIMEROS SEMESTRES DE LICENCIATURAS DEL ÁREA QUÍMICA.

PROPUESTA DE MATERIAL DIDÁCTICO: ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN INFRARROJA A NIVEL TEÓRICO DESDE EL ENFOQUE DE LA QUÍMICA COMPUTACIONAL.

JUEGOS DE MESA COMO ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA EN EL TEMA DE NOMENCLATURA DE HIDROCARBUROS, EN EL BACHILLERATO.

CLAVE CRETIB: ACTUALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS A PARTIR DE LAS NORMAS MEXICANAS Y NORMAS OFICIALES MEXICANAS VIGENTES.

VIDA ÚTIL DE UNA PREPARACIÓN EXTEMPORÁNEA DE ÁCIDO ACETIL SALICÍLICO ALMACENADA A 15° C

## INGENIERÍA QUÍMICA

ADSORCIÓN DE MEDICAMENTOS EN AGUA CONTAMINADA POR MEDIO DE CARBÓN ACTIVADO.

CANALIZACIÓN DEL AGUA USADA PARA EL RIEGO DE VEGETACIÓN EN LAS ESCALERAS DIAGNÓSTICO EN MATERIA AMBIENTAL DEL HORNO INCINERADOR DE LA FES-C

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA DESCALCIFICACIÓN DE CÁSCARA DE CAMARÓN POR FERMENTACIÓN CON BACTERIAS LÁCTICAS

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS DE LACTATO DE ETILO EN UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN REACTIVA

ESTUDIO CINÉTICO DE LA HIDROLISIS DE LACTATO DE ETILO CATALIZADA POR UNA RESINA ÁCIDA DOWEX-50

IRRADIANCIA UV SOLAR EN UN SITIO AL NORTE DEL ESTADO DE MÉXICO.

LAS VARIACIONES DE VOLTAJE, SUS AFECTACIONES EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES INTERNOS DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.

“ESTUDIO DE DESHIDRATACION TÉRMICA DE LODOS PARA SU POSTERIOR USO EN COMPOSTAJE”

PROPUESTA DE UN BIOPROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANO A PARTIR DE LOS DESECHOS DE CAMARÓN.

IDENTIFICACIÓN DE UNA BACTERIA ACIDO LÁCTICA PRODUCTORA DE PROTEASAS PARA LA DESPROTEINIZACIÓN DE CÁSCARA DE CAMARÓN

GENERACIÓN DE CLORO ACTIVO PARA LA DEGRADACIÓN DEL ROJO REACTIVO 198 EN UN REACTOR ELECTROQUÍMICO.

REMOCIÓN DE ETHINYL ESTRADIOL DE AGUA POTABLE MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO ELIMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN AGUA MEDIANTE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA SOLAR

OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA DE ACESULFAME-K CON FOTOCATALIZADORES DE TIO<sub>2</sub>

CINÉTICA DE CRECIMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR TIPO UASB PILOTO

## CONCENTRACIÓN DE CAFEÍNA EN BEBIDAS DE ALTO CONSUMO EN LA POBLACIÓN MEXICANA

José David Enciso Hernández, Ivonne Elaine Monterrubio Valle, Antonio Edu Cabello González, Luis Charbel Peña Solís, Sergio Armando Resendiz Navarrete, Angélica Montes, Eva Hernández Godínez\*, Judith García Arellanes, María Olivia Noguez Córdova.

Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1  
Universidad Nacional Autónoma de México

[maestra3judithgarcia@hotmail.com](mailto:maestra3judithgarcia@hotmail.com)

### RESUMEN

Este trabajo pretende brindar a los consumidores la información de la cantidad de cafeína que realmente existe en bebidas de alto consumo en México, generando conciencia acerca de los daños a la salud que implica la ingesta en exceso de este compuesto en estas bebidas, enfatizando el hecho de que en México hay una deficiencia en cuanto a la información que nos brinda la empresa acerca de la cantidad de cafeína que realmente contienen sus productos. La obtención de cafeína se llevó a cabo con el método de extracción, lo que condujo a obtener cantidades presentes de hasta 10 mg de cafeína en refrescos de cola y de 130 mg en diferentes tipos de café, cantidades que rebasan el consumo diario recomendado, lo que implica que se debe de tomar y ampliar esfuerzos para brindar una mejor información.

**PALABRAS CLAVE:** cafeína, salud, café, etiquetado, extracción.

### ANTECEDENTES

La Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios realizó un análisis de ingesta diaria de cafeína a través de bebidas y encontró que en promedio se ingieren 194 mg/día y que el límite máximo de cafeína recomendado para un adulto es de 300 mg diarios, y la ingesta de bebidas adicionales con cafeína no debe rebasar los 165 mg por día [1]; a esto se suma el consumo de bebidas azucaradas en el cual México ocupa el primer lugar a nivel mundial en el consumo de refresco de cola los cuales también contienen cafeína [2]; El aumento en el consumo de estos productos se debe a las características que comúnmente se le atribuyen a la cafeína como son, un aumento en la concentración, resistencia física, eliminación de la necesidad de sueño, aumento en el estado de alerta mental, proporcionar sensación de bienestar, estimular el metabolismo, sin embargo la mayoría de estas afirmaciones no son ciertas para todas las personas que la consumen. Por el contrario, se sabe que

un exceso en el consumo de cafeína puede originar daños en el sistema nervioso central, afectaciones en el sistema cardiovascular, temblores, irritabilidad y aumento en la presión arterial. El Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios, en la NOM-218-SSA1-2011 Productos y servicios, establece que las bebidas adicionadas con cafeína no deben contener más de 33 mg de cafeína/100 mL de producto, esta norma también establece que las bebidas adicionadas con cafeína contengan etiqueta con el consumo de producto que se puede ingerir al día, así como una leyenda que indique que no se recomienda el consumo a personas menores de 12 años, mujeres embarazadas o lactancia o personas sensibles a la cafeína [3]. A pesar de la existencia de estas normas, estas etiquetas no siempre están presentes en los productos que contienen cafeína y la cantidad máxima que pueden tener estos es en ocasiones más elevada de lo recomendado. Es por esto que, se enfatiza la necesidad de conocer, mediante métodos experimentales, la concentración real de este producto, y la necesidad de brindar esta información



al consumidor para que pueda exigir con argumentos experimentales, su derecho al correcto etiquetado de estos productos, los cuales de lo contrario seguirán deteriorando la salud de la población mexicana.

## OBJETIVO(S)

Determinar la concentración de cafeína que contienen las bebidas de consumo diario en la población mexicana (café y refresco de cola) mediante la técnica de extracción química, esto para brindarle al consumidor la información del contenido real de cafeína en estas bebidas y sus posibles consecuencias a la salud.

## PARTE EXPERIMENTAL

La técnica de extracción para la obtención de la cafeína consta de la siguiente instrumentación:

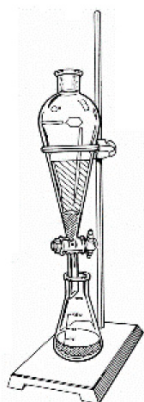
Para la extracción (Figura 1):

Embudo de separación con tapón esmerilado, soporte universal, pinzas de tres dedos con nuez, matraz Erlenmeyer de 50 mL, embudo de vidrio, papel filtro de poro mediano, varilla de vidrio, vaso de precipitado de 100 mL y tiras de pH.

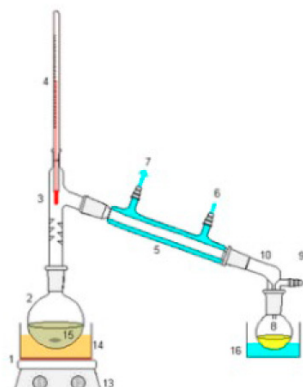
Para la recuperación del cloroformo (Figura 2):

Matraz de bola de 50 mL, mantilla de calentamiento, termómetro, cabeza de destilación, refrigerante, dos soportes universales, dos pinzas de tres dedos con nuez, matraz Erlenmeyer de 50 mL y baño de hielo;

Para la identificación de la cafeína determinar el punto de fusión mediante el método de Fisher- Johns.



**Figura 1.** Montaje para extracción. [4]



**Figura 2.** Montaje para destilación. [5]

**Tabla 1.** Reactivos utilizados para la obtención de la cafeína.

Reactivos	Fórmula química
Cloroformo	$\text{CHCl}_3$
Cloruro de sodio	$\text{NaCl}$
Etanol	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$
Sulfato de sodio anhidro	$\text{Na}_2\text{SO}_4$
Carbonato de sodio	$\text{Na}_2\text{CO}_3$

Procedimiento experimental:

Se filtró la bebida problema, se determinó el pH y se neutralizó (en caso de ser necesario). Se vertieron 50 mL de muestra dentro del embudo de separación y se colocaron 10 mL de cloroformo. Posteriormente, se tapó el embudo y agitó, se liberó presión y agitó nuevamente esto se representa en la Figura 3, si hubo formación de emulsiones, romper con agitación vigorosa con ayuda de una varilla de vidrio, adicionar cloruro de sodio o gotas de etanol.



**Figura 3.** Método de agitación para técnica de extracción. [7]

Se realizaron 3 extracciones de 10 mL y se juntó la fase orgánica, se agregó sulfato de sodio anhidro y se decantó.

Se realizó una destilación simple para recuperar al cloroformo y obtener los cristales de cafeína, se cuantificó la cantidad de cafeína contenida en la fase orgánica. Finalmente, se determinó el punto de fusión de la muestra extraída con el método de Fisher-Johns, comparándolo con el valor reportado

en la literatura para la cafeína, determinando así la presencia de este compuesto en la muestra de la bebida.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla 2.** Peso y punto de fusión de la cafeína en distintas bebidas.

Tipo de bebida	Peso de cafeína (mg)
Finca americano	120
Andatti Americano	71
Nescafé (soluble)	130
Pepsi kick	10
Coca-cola	10
Red cola	10
Pepsi	10

En la Tabla 2, se reporta el contenido extraído de cafeína en las bebidas de cola observando que la cantidad es muy similar en el caso del café, mientras que en las bebidas de cola es la misma. Por lo tanto, productos como Pepsi Kick, los cuales anuncian un contenido extra de cafeína, en realidad contienen la misma cantidad de este compuesto que en presentaciones ordinarias.

Para comprobar que realmente se obtuvo cafeína por el método de extracción, se empleó la determinación del punto de fusión de las muestras problema. Se procedió a comparar estos valores con el punto de fusión reportado en la literatura para la cafeína el cual es de 235°C.

En base a las normas establecidas para estos productos, se debe tener un contenido de cafeína menor a 33 mg por cada 100 mL, en todos los casos, ninguna de las bebidas de cola excede de la cantidad de cafeína autorizada.

El Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios en la NOM-218-SSA1-2011 establece que las bebidas que contengan cafeína deberán tener un etiquetado en el cual indiquen la cantidad de producto que se puede consumir al día así como, una leyenda en la cual diga que no se recomienda

el consumo a menores de 12 años ni a mujeres embarazadas. De todas las bebidas analizadas, la Pepsi Kick es el único producto que presenta una etiqueta la cual menciona la presencia de cafeína en su composición. Esta etiqueta se presenta en la Figura 4, en la que se observa que no tiene la leyenda que indica la norma, sin embargo, es mencionado la presencia de cafeína, así como su contenido.



**Figura 4.** Etiqueta de Pepsi Kick en la cual se indica la presencia de cafeína y su contenido en porcentaje.

En cuanto a las bebidas de café, se encontró mayor presencia de cafeína dentro de su contenido lo cual se observa en la Tabla 2, estas cantidades fueron obtenidas para cada 50 mL de producto, si consideramos que normalmente una taza de café contiene 250 mL de producto, entonces se tendría una mayor cantidad de cafeína por unidad de café consumido, la recomendación del consumo de cafeína es de 165 mg por día y la máxima es de 300 mg; por lo tanto se resalta el hecho de que los productos analizados contienen una gran cantidad de cafeína que puede ser perjudicial para la salud si se excede de más de dos tazas al día.

Estos productos tampoco cuentan con un etiquetado el cual indique el contenido de cafeína en el café, lo cual se considera riesgoso puesto que el consumidor no conoce la cantidad real de cafeína que está ingiriendo.

## CONCLUSIONES

Mediante los resultados experimentales se logró determinar que la concentración de cafeína en las bebidas empleadas en nuestra experimentación, debido a esto se debe de concientizar a la población sobre el contenido real de éstas, y de esta manera poder controlar a conciencia la ingesta de la cafeína ya que,

como se mencionó anteriormente, en los antecedentes la ingesta diaria máxima de cafeína en los adultos es de 300 mg diariamente. En todas las bebidas de cola, se obtuvo la cantidad de cafeína permitida por El Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios, sin embargo, el etiquetado de estas bebidas es deficiente en cuanto al contenido de cafeína presente. Por otro lado, las muestras de café contenían la mayor cantidad de cafeína presente, por consiguiente, si se consumen más de dos tazas de café al día se sobrepasa el límite establecido. Todo esto refuerza la necesidad de exigir a las empresas un correcto etiquetado en los productos que contienen cafeína, para que el consumidor tenga noción de lo que realmente contienen estos productos y que no ponga en riesgo su salud.

## REFERENCIAS

- [1] Rosales-Castillo, J.A. (2016). Bebidas energéticas. Cultura sanitaria. Revista COFEPRIS, Protección y salud. Recuperado el 11/05/18 de <http://revistacofepris.salud.gob.mx/inter/2016/1/cultura.html>
- [2] Moreno, T. (2017). México, campeón mundial en consumo de refresco. El Universal. 27 de marzo de 2017. Recuperado el 11/05/18 de <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/nacion/sociedad/2017/03/29/mexico-campeon-mundial-en-consumo-de-refresco>.
- [3] Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, (2016). Alertas sanitarias de alimentos. COFEPRIS, 22 de julio de 2016. Recuperado el 11/05/18 de: <https://www.gob.mx/cofepris/documentos/alertas-sanitarias-de-alimentos>.
- [4] Portilla, L.D., Londoño, W.A., Franco, Y.F., López Y.A. (2011). Objeto tecnológico: Embudo de decantación. Química en acción. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Química aplicada a la industria. Santiago de Cali. 23 mayo 201. Recuperado el 11/05/18 de: <http://yenifrancquimicaenlaindustria.blogspot.mx/2011/05/objeto-tecnologico-embudo-de.html>.
- [5] Wikipedia. (2018). Destilación simple. Recuperado el 11/05/18 de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Destilaci%C3%B3n\\_simple#/media/File:Simple\\_distillation\\_apparatus.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Destilaci%C3%B3n_simple#/media/File:Simple_distillation_apparatus.png)
- [6] Fernández, G. (2012). Separación mediante extracción. Operaciones básicas. Química orgánica. Recuperado el 11/05/18 de [http://www.quimicaorganica.net/sites/default/files/img/labos\\_ratorios/extraccion/extraccion-embudo.jpg](http://www.quimicaorganica.net/sites/default/files/img/labos_ratorios/extraccion/extraccion-embudo.jpg)

## EXTRACCIÓN DE CAFEÍNA EN BEBIDAS ENERGÉTICAS COMERCIALES

Zaira del Carmen Domínguez Rico, Cinthya Yolotzin Merino Báez, Evelia Domínguez Soriano, Rebeca Monserrat Aguirre Castillo, Montaño Santos Aylin, Eva Hernández Godínez\*, Judith García Arellanes, María Olivia Noguez Córdoba

Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán,  
Universidad Nacional Autónoma de México

[maestra3judithgarcia@hotmail.com](mailto:maestra3judithgarcia@hotmail.com)

### RESUMEN

En México, las personas consumen gran cantidad de bebidas energéticas con la finalidad de obtener ciertos beneficios como la activación, mayor rendimiento, tiene efectos antioxidantes, entre otros. Sin embargo, el abuso en el consumo de este tipo de bebidas tiene ciertos perjuicios, tales como; insomnio, nerviosismo y adicción. Por ende, en este proyecto mediante una extracción; se cuantificó e identificó la presencia de cafeína en este tipo de bebidas, en donde se obtuvo que estas bebidas energéticas contienen mayor cantidad de cafeína a diferencia de las bebidas a base de té.

**PALABRAS CLAVE:** Bebidas-energéticas, extracción, cafeína, té, estimulantes.

### ANTECEDENTES

La cafeína, también conocida como 1,3,7-trimetilxantina, es un alcaloide perteneciente a la familia de las xantinas, que posee propiedades estimulantes sobre el sistema nervioso central, y que puede obtenerse a partir de varias fuentes, como los granos de café u hojas de té, o bien de manera sintética.

Una vez ingerida altera la forma de actuar del organismo, su estructura molecular es similar a la adenosina, un depresor del sistema nervioso que promueve el sueño y suprime la excitación nerviosa, sin embargo, la cafeína bloquea los receptores de adenosina, aumentando la actividad celular. Los efectos de la cafeína actúan alrededor de 45 minutos después de ingerirla y alcanza un pico en sangre sobre la hora, y puede mantener los efectos hasta 4 o 6 horas.

En México el consumo de las bebidas energéticas ha ido en aumento en 2016 alcanzaron los 135 millones de litros y se espera que al 2020 se alcancen

los 188 millones de litros. De acuerdo con cifras de la Secretaría de Economía de México, en el 2016, las importaciones de bebidas energizantes sumaron 100,4 millones de litros [1].

La cafeína se suele usar como estimulante, así también es un potenciador de la memoria, es antioxidante, alivia los efectos de la depresión, entre otros beneficios, sin embargo, también es considerada una droga psicoactiva, la cual puede volverse adictiva, provocando crear efectos emocionales y psicológicos como ansiedad, causando irritabilidad y nerviosismo, también provoca insomnio, aumento del ritmo cardíaco, náuseas, calambres musculares, estrés, sube y baja en el nivel de azúcar, deficiencias nutricionales.

Aún a pesar de que la NOM-218-SSA1-2011 menciona "No se recomienda su consumo por niños menores de 12 años, mujeres embarazadas o lactando, personas sensibles a la cafeína, ni la mezcla con bebidas alcohólicas" [2], sin embargo, su venta no tiene prohibiciones o restricciones, firmemente marcadas, solo son suge-

rencias, lo que provoca que su venta siga siendo libre. La mercadotecnia de las industrias utiliza diferentes estrategias para llamar la atención del consumidor, creando publicidad llamativa, envases coloridos, comerciales atractivos, tratando de convencerlos de que son productos naturales, libres de conservadores y colorantes artificiales, creándonos el ideal de que el consumo de dichas bebidas no nos generará ningún efecto adverso y que son lo suficientemente saludables, como para consumirlas sin restricciones y sustituir los productos realmente naturales.

## OBJETIVO(S)

Extraer, identificar y cuantificar la cantidad de cafeína presente en las bebidas energéticas, así como conocer el impacto y efectos que tiene sobre las personas que las consumen.

## PARTE EXPERIMENTAL

Bebidas energizantes:

- Red-Bull
- Monster
- Rockstar
- Vive100
- Lipton Ice tea (0.1% *Camellia sinensis*)
- Arizona té negro
- Fuze tea Durazno (0.1% *Camellia sinensis*)

Propuesta metodológica para la extracción de cafeína: Tomar una muestra de 50 mL de las bebidas en un vaso de precipitados. Medir el pH de la muestra y neutralizar con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  en caso del té, y  $\text{NH}_4\text{OH}$  para las bebidas energéticas. Filtrar por gravedad para eliminar impurezas. Añadir la muestra al embudo de separación y agregar 10 mL de cloroformo. Agitar vigorosamente para separar las fases. Separar la fase orgánica, realizar 3 extracciones más y juntar las fases. Repetir el paso 3. A la fase orgánica obtenida, agregar  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  para eliminar el agua presente en nuestra fase y decantar. Destilar la fase orgánica obtenida para separar el cloroformo de la cafeína y así recuperar el disolvente. Determinar el punto de fusión del producto extraído con el equipo Fisher-Johns.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se vertieron en las siguientes tablas.

**Tabla 1.** Resultados de la experimentación con algunas bebidas energéticas.

Nombre comercial de la bebida energizante	Contenido de Cafeína (mg) obtenido	Contenido de Cafeína (mg) según la etiqueta documentado	Equivalente de cafeína en una tableta de cafiaspirinas
Red-Bull	30	30	0.6
Monster	36	30	0.72
Rockstar	30	32	0.6
Vive100	33	32	0.66

Los puntos de fusión de la cafeína  $\approx 235$  °C.

**Tabla 2.** Resultados de la experimentación con algunas bebidas energéticas.

Nombre comercial de la bebida energizante	Contenido de Cafeína (mg) obtenido	Contenido de Cafeína (mg) según la etiqueta documentado	Equivalente de cafeína en una tableta de cafiaspirinas
Lipton Ice Tea	1.5	0.06	0.03
Arizona té negro	5.5	0.6	0.11
Fuze tea Durazno	0.5	0.06	0.01

Los puntos de fusión de la cafeína  $\approx 235$  °C.

Observamos que los resultados expresados en la Tabla 1, reflejan que la cantidad de cafeína extraída, es muy similar al que se reporta en las etiquetas de las bebidas Red-Bull, Monster, Rockstar y Vive 100, por lo tanto, la metodología se considera adecuada para este fin; así mismo el punto de fusión refleja su tentativa identidad.

Se puede apreciar en esta misma Tabla 1, que el equivalente de cafeína agregada a estas bebidas es importante, porque al comparar la masa de cafeína de una tableta de CafiAspirina y el contenido de ésta en la bebida, corresponde de entre 60-72%.

La cantidad de cafeína presente en los jugos de té (Tabla 2) es muy pequeña en comparación a la cafeína contenida en una CafiAspirina (50 mg), difícilmente generaran estas bebidas una adicción, insomnio o nerviosismo si se consume esporádicamente, al contrario de las bebidas de la Tabla 1.

## CONCLUSIONES

Se determinó la cantidad de cafeína que contienen las bebidas energéticas con las que se trabajó mediante el proceso de extracción empleando disolventes orgánicos, además se conocieron algunas de las ventajas y desventajas al consumir este tipo de bebidas.

Dicha información nos demuestra que se cumple el objetivo de conocer la cantidad de cafeína que contienen estas bebidas energéticas, conociendo así también el impacto en el consumo de las mismas.

Un elevado consumo de cafeína puede ser peligroso, a ciertas cantidades (33 mg/100 mL de acuerdo a la NOM-218-SSA1-2011) no solamente el café, el té, sobre todo, las bebidas energizantes aportan cafeína a nuestro organismo: la ingesta de algunos fármacos también contribuye a que la dosis de cafeína se dispare.

## REFERENCIAS

- [1] Procomer (2017). El mercado de bebidas energéticas creció en México. Legiscome. Sistema de inteligencia comercial. Recuperado el 11/05/18 de: <https://www.legiscomex.com/Documentos/mercado-bebidas-energizantes-crecio-mexico-jun-2-17-15not>
- [2] NOM-218-SSA1-2011, Productos y servicios. Bebidas saborizadas no alcohólicas, sus congelados, productos concentrados para prepararlas y bebidas adicionadas con cafeína. Especificaciones y disposiciones sanitarias. Métodos de prueba. Diario oficial (10 de febrero de 2012). Recuperado el 11/05/18 de: <http://www.salud.gob.mx/cdi/nom/comp/NOM-218-SSA1-2011.pdf>

## CAPACIDAD FUNGICIDA DEL QUITOSÁN Y ACEITES ESENCIALES CONTRA HONGOS PATÓGENOS DEL LIMÓN MEXICANO

Marisol Hernández Murillo<sup>1</sup>, Ma Cristina J Pérez Reyes<sup>2</sup>,  
Daniela Hernández Regino<sup>1</sup>, Susana Patricia Miranda Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Biotecnología, <sup>2</sup>Unidad de Investigación de Granos y Semillas  
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

marisol\_cr7@hotmail.com, crisp28@yahoo.com.mx, danyhr.1293@gmail.com, spmcunam55@gmail.

### RESUMEN

Las podredumbres ocasionadas por hongos son las causas de pérdidas de frutos cítricos y alcanzan del 60 al 80% del total de los agrios. Se estudió la capacidad antifúngica in vitro e in vivo de quitosán mejorado y de tres aceites esenciales sobre limón mexicano, para el control de hongos y alargar su vida de anaquel. Se aislaron e identificaron hongos en limón. Se realizaron cinéticas de crecimiento con los tratamientos. Se determinó la capacidad antifúngica de los tratamientos. Se recubrieron limones y se evaluaron propiedades de calidad del fruto a T° ambiente y HR de 85%. Se identificaron, *Penicillium italicum*, *Penicillium digitatum*, *Alternaria alternata* y *Geotricum candidum*. Todos los tratamientos fueron efectivos y se demostró capacidad fungicida que proviene principalmente del quitosán mejorado. La pérdida de peso, cantidad de jugo, no fue significativamente diferente al limón control, y no hubo presencia de hongos.

**PALABRAS CLAVE:** limón, quitosán, aceites esenciales, hongos, podredumbres, vida de anaquel.

### ANTECEDENTES

El cultivo de cítricos en México, en particular del Limón Mexicano, ha alcanzado durante los últimos años un importante desarrollo; en las regiones de clima tropical y subtropical se ha constituido como uno de los sectores con mayor dinamismo, que genera en el medio rural empleo para la ocupación de mano de obra [1]. Como en todos los cítricos, los limones ácidos una vez cosechados, experimentan un metabolismo relacionado con el fenómeno de senescencia, caracterizado por pérdidas en el contenido de clorofila (responsables del color verde), una elevada transpiración, que conduce al marchitamiento y endurecimiento de la piel, reacciones de fermentación (producción de etanol), pérdidas del valor nutricional (principalmente Vitamina C) y su sensibilidad al ataque de microorganismos causantes de pudriciones se incrementa [2].

Se ha reportado por Alvarez y cols. [3], que la evolución de la senescencia en cítricos es acelerada por diversos factores como: inadecuado momento de co-

secha, manejo brusco del producto tanto en campo como en empacadora, insuficiente aplicación de técnicas para control de patógenos y pérdidas de agua por transpiración, así como empleo de inadecuadas condiciones de temperatura y humedad relativa para el almacenamiento y/o transporte del producto (principalmente daños por frío). Entre las técnicas postcosecha que se han venido aplicando para mantener la calidad y extender la vida postcosecha de los frutos de limón mexicano y 'Persa' se incluye principalmente el uso de recubrimientos a base de ceras y el empleo de temperaturas de refrigeración.

Las podredumbres ocasionadas por *Penicillium* son las principales causas de pérdidas de los frutos cítricos durante su comercialización en condiciones mediterráneas, éstas alcanzan del 60 al 80% del total de los agrios [4].

El uso de recubrimientos comestibles, es una tecnología que está ganando importancia para pro-

longar la vida útil de frutas frescas y mínimamente procesadas, debido a que actúan como una barrera contra la humedad. Además, presentan permeabilidad a gases, en fruta almacenada disminuye su respiración, evita pérdida de compuestos volátiles y retarda la oxidación enzimática.

El quitosano es un compuesto derivado de la quitina. Este polímero biodegradable y no tóxico para los humanos presenta múltiples cargas positivas que le confieren valiosas propiedades funcionales, entre las que destaca su actividad antimicrobiana [5,6], además de poseer la capacidad de formar películas.

Los aceites esenciales, son un grupo de sustancias naturales que se conoce la actividad antimicrobiana de éstos y se utilizan al menos en la industria alimentaria como inhibidores de microbiota [7].

## OBJETIVO

Evaluar in vitro e in vivo el recubrimiento de quitosán y aceites esenciales en fruto de limón mexicano, contra los hongos que lo atacan y sus propiedades de calidad.

## PARTE EXPERIMENTAL

Como pruebas preliminares se realizaron tres tratamientos de quitosán con diferentes concentraciones de aceites esenciales (100, 150 y 200 ppm). Se recubrieron 3 limones por tratamiento y se colocaron en una cámara tapada con una solución para simular una humedad relativa de 85%. Se observó la pérdida de peso de los limones durante 15 días. De esta prueba se escoge la concentración de aceites que permita la menor pérdida de agua.



## Aislamiento y purificación de los hongos

Se aislaron diversos hongos de hojas y frutos de limón utilizando diversos medios de cultivo para llegar hasta especie y usando diversas claves micológicas para su identificación, figura 1.

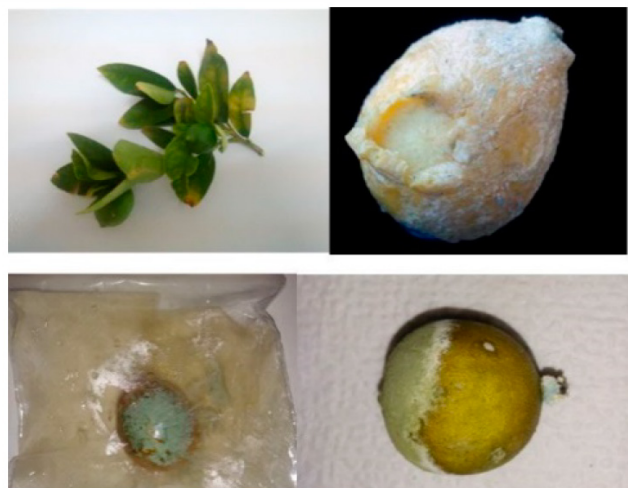


Figura 1. Muestras de limón para aislamiento de hongos.

## Evaluación de actividad antifúngica de quitosán y aceites esenciales *In Vitro*

Para determinar si los tratamientos de quitosán y aceites esenciales (canela, clavo y tomillo) presentan un efecto fungicida se hizo una siembra de los hongos patógenos previamente aislados.

Para la siembra de las especies aisladas e identificadas se preparó una suspensión de esporas, tomando una porción de cada una de las colonias colocándolas en un vial con una solución de agua agar al 0.2% con 0.05 de tween 80, se colocaron de 3-4µl en el centro de una placa de agar y se incubaron a 25°C durante 8 días en fotoperiodo.

Se prepararon cajas Petri con agar papa-dextrosa (control) y en los tratamientos se le adicionó el quitosán al 1% y los aceites esenciales de canela, clavo y tomillo a 200 ppm quedando el experimento de la siguiente forma, tabla 1:



Tabla 1. Diseño del experimento de recubrimiento del limón.

Agar PDA (control)
Agar PDA + quitosán 1%
Agar PDA + quitosán 1% + aceite canela 200ppm
Agar PDA + quitosán 1% + aceite clavo 200ppm
Agar PDA + quitosán 1% + aceite tomillo 200ppm
Agar PDA + quitosán 1% + mezcla de aceites 200ppm

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y se evaluó diámetro del crecimiento micelial. Para los cálculos se tomaron las medidas de 2 diámetros perpendiculares del crecimiento y se sacó la media para obtener el tamaño de la colonia; esto se realizó diariamente durante 8 días.

### Evaluación de la actividad fungicida o fungistática del quitosán

Para determinar el efecto fungicida o fungistático se realizó una prueba que consistió en obtener un explante discoidal de cada uno de los hongos de todos los tratamientos probados en donde no hubo desarrollo fúngico. Para posteriormente ser transferido a una caja Petri con medio de cultivo PDA e incubar a una temperatura de 25°C durante 7 días.

### RECUBRIMIENTO DEL FRUTO. Prueba *In Vivo*

Se contó con limones cortados del árbol directamente y estos no tuvieron ningún tratamiento previo. Se separaron y se clasificaron de acuerdo con su peso y estado de madurez. Se pesaron cada uno de los limones considerando un rango de peso de  $\pm 10$  gramos por fruto y se observó el color como parámetro de madurez. Se formaron dos grupos: el primero, sin recubrimiento y el segundo con recubrimiento.

Los limones fueron lavados y posteriormente fueron recubiertos con una solución de quitosán mejorado al 1%, mediante inmersión durante 30 segundos. Posteriormente se colocaron en una rejilla para quitar el excedente y para que se secase el recubrimiento por convección natural figura 2.



Figura 2. Grupos de limones, recubiertos y sin cubrir

### Evaluación de pruebas fisicoquímicas de limones recubiertos con quitosán Pérdida fisiológica de peso

Para la evaluación del peso, después de haber pasado por el secado, se colocaron a los limones en unos costalitos de manta de cielo con 4 limones de cada grupo, estos costalitos se pesaron diariamente en una balanza analítica.

### Contenido de jugo

Los limones deben pesarse cada uno, antes de ser cortados, posteriormente, todos los frutos deben ser cortados de tal manera que queden expuestas las vesículas de jugo. Cada mitad de fruto, debe ser colocada en el extractor manual para ser exprimidos hasta que se observe que las vesículas de jugo queden sin jugo.

### Acidez

La acidez titulable (método AOAC) se realizó con la muestra del jugo de limón. La determinación se hizo por titulación con una solución valorada de hidróxido de sodio 0.1 N. Posteriormente se tituló la muestra hasta que se mantuvo el vire al color rosa por un minuto. La acidez titulable es expresada como porcentaje de ácido cítrico.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN Pruebas preliminares

Al realizar las pruebas preliminares con aceites esenciales, se registró el peso durante 15 días y se observó que a la concentración de 200 ppm de aceites era la cantidad indicada para la experimentación definitiva, ya que a esta concentración se evitaba una menor pérdida de peso en el fruto.

### Aislamiento, purificación e identificación de los hongos encontrados en el limón.

Se aislaron e identificaron los siguientes hongos figura 3:

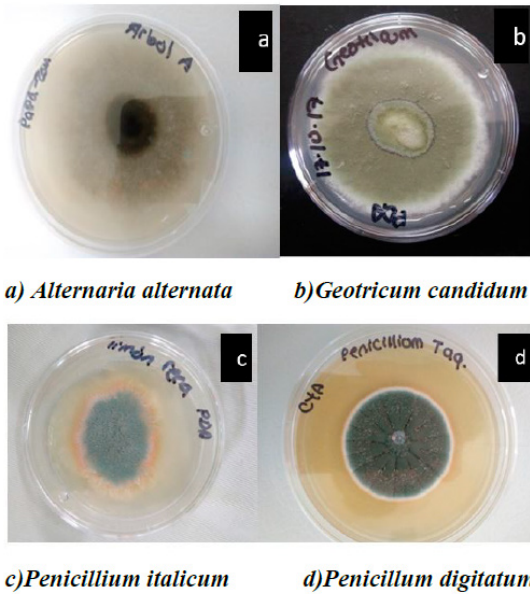


Figura 3. Hongos aislados, purificados e identificados de limones enfermos. Este crecimiento es en agar PDA.

### Evaluación de actividad antifúngica de quitosán y aceites esenciales *In Vitro* Cinética de crecimiento micelial

En la siguiente figura 4, se muestra la cinética de crecimiento micelial de cada uno de los hongos aislados, durante ocho días. Se observa que la especie con una mayor velocidad de crecimiento es la *Alternaria alternata*.

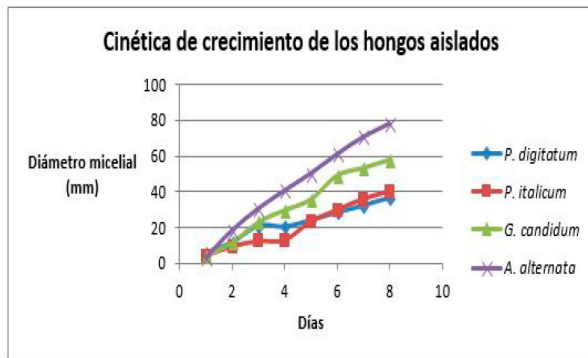


Figura 4. Se muestran gráficamente el crecimiento de los cuatro hongos aislados del limón.

En la siguiente figura 5, se muestran las cajas de Petri con los diversos tratamientos, en este caso es *Penicillium digitatum*, pero los otros tres hongos tuvieron el mismo comportamiento..

TRATAMIENTO	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8
CONTROL								
QUITOSÁN MEJORADO 1%								
QUITOSÁN + ACEITE ESENCIAL DE CANELA								
QUITOSÁN + ACEITE ESENCIAL DE TOMILLO								
QUITOSÁN + ACEITE ESENCIAL DE CLAVO								
QUITOSÁN + MEZCLA DE ACEITES ESENCIALES								

Figura 5. Cinética de crecimiento micelial de *Penicillium digitatum*

### Evaluación de la actividad fungicida o fungistática del quitosán

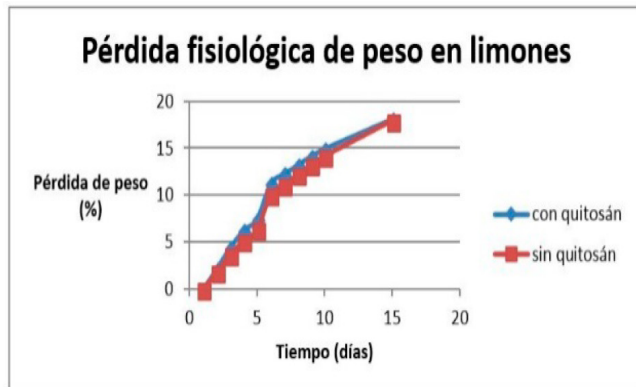
Durante la experimentación *in vitro* se observó que tanto los tratamientos de quitosán modificado como con los aceites esenciales no hubo crecimiento de los hongos, por lo cual, se realizó la prueba actividad fungicida o fungistática del quitosán. Como se observa en la siguiente figura 6, los explantes de todos los hongos provenientes de cada tratamiento e incubados en agar PDA no muestran crecimiento, por lo que se concluye que la actividad del quitosán es fungicida.



Figura 6. Explantes de hongos.

### Recubrimiento del fruto. Prueba *in vivo* Pérdida fisiológica de peso

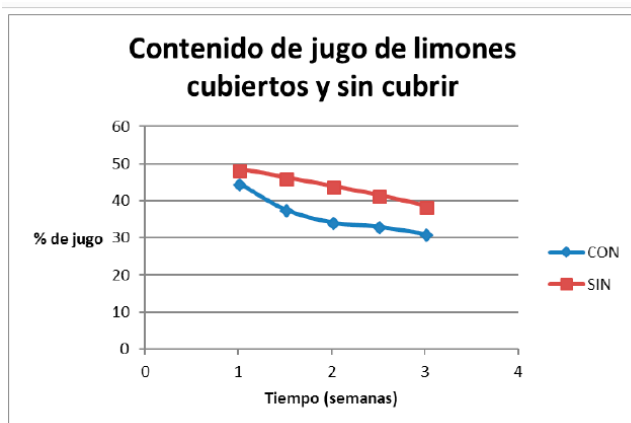
En esta evaluación, el análisis estadístico mostró que no hubo diferencia significativa en la pérdida de peso de ambos tratamientos con quitosán mejorado y sin quitosán como se observa en la siguiente figura 7.



**Figura 7.** Comparativa de pérdida fisiológica de peso de limones recubiertos con quitosán y sin cubrir.

### Contenido de jugo

Como se observa en la figura 8, no hubo estadísticamente diferencia entre los limones sin cubrir y los cubiertos en cuanto a contenido de jugo.



**Figura 8.** Evaluación de contenido de jugo de limones cubiertos con quitosán y sin cubrir.

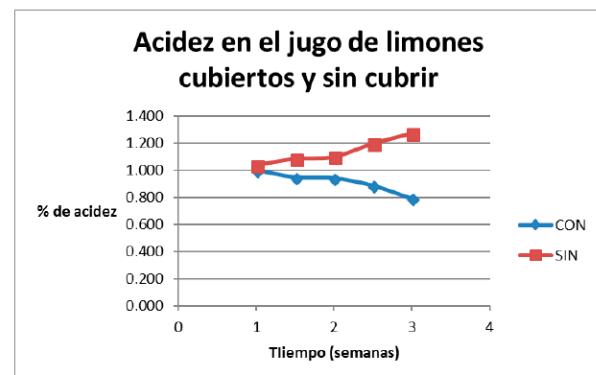
Se observó que, aunque físicamente la piel de los frutos con el quitosán modificado se notaban secos, al partarlos y exprimirlos tenía una cantidad considerable de jugo y su apariencia interna era muy aceptable, figura 9.



**Figura 9.** Los limones cubiertos con quitosán mostraban su piel un tanto seca, pero por dentro tenían muy buena apariencia.

### Acidez

En esta evaluación, estadísticamente no hubo diferencia significativa, lo que quiere decir que en los limones recubiertos se retrasó la madurez ligeramente como se observa en la figura, pero no causó cambios tan notables en la calidad.



**Figura 10.** Acidez expresada en % de ácido cítrico.

## CONCLUSIONES

Se aislaron e identificaron 4 hongos patógenos del limón y todos resultaron susceptibles a la acción in vitro tanto del quitosán como con los aceites esenciales, por lo que el uso solamente de quitosán es suficiente para no dejarlos crecer.

En las pruebas in vivo también fueron susceptibles los hongos a la acción del quitosán ya que no se presentaron infecciones a lo largo del experimento y los limones mantuvieron su calidad. El único detalle, es que en apariencia mostraron como ligera deshidratación de la cáscara, porque por dentro mantuvieron sus atributos.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto PIAPI 1642 "Infección e Inmunidad"  
Proyecto PAPIME PE204217

## REFERENCIAS.

- [1] González-Sánchez, R., & Silva-Echevarria, R. (2003). Universidad de Colima y Fundación Produce Colima, A. C. Estado de Colima. Retrieved from [http://siic.ucol.mx/Archivos\\_prov%5CDiagnosticoLimon.pdf](http://siic.ucol.mx/Archivos_prov%5CDiagnosticoLimon.pdf)
- [2] Cuquerella, J., M. Mateos, M.A Del Rio, P. Navarro y L. Cervera. (1988). Influencia de distintos recubrimientos en el intercambio gaseoso, transpiración y alteraciones fisiológicas en la post-recolección de naranjas 'Valencia'. Sociedad Española de Fisiología Vegetal. Maduración y Postrecolección 88, Murcia, pp: 118-126.
- [3] Álvarez- Armenta, R., Saucedo-Veloz, C., Chávez-Franco, S., Medina- Urrutia, Víctor Colinas- León, M. T., & Báez- Sañudo, R. (1995). Reguladores de crecimiento en la maduración y senescencia de frutos de limón mexicano. Agricultura Técnica en México. <https://doi.org/10.4270/ruc.2010216>
- [4] Tuset J.A. (1987). Podredumbres de los frutos cítricos. Generalitat Valenciana. Valencia, España. 206 pp.
- [5] Salvador, A., & Cuquerella, J., & Monterde, A. (2003). Efecto del quitosano aplicado como recubrimiento en mandarinas fortune. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 5 (2), 122-127.
- [6] Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., Velázquez-Del Valle, M. G., Hernández-López, M., Ait Barka, E., Bosquez-Molina, E., & Wilson, C. L. (2006). Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection*, 25(2), 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.03.010>
- [7] Aguilar-González, A. E., & López-Malo, A. (2013). Extractos y aceite esencial del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y su potencial aplicación como agentes antimicrobianos en alimentos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2), 35–41. Retrieved from <http://web.udlap.mx/tsia/files/2014/12/TSIA-72->

## EVALUACIÓN DEL DAÑO OCASIONADO POR EL BARRENADOR MAYOR DE LOS GRANOS EN SEMILLAS DE MAÍZ TRATADAS CON EXTRACTOS DE GOBERNADORA Y AJENJO.

Martha Yolanda Quezada Viay<sup>1</sup>, Josefina Moreno Lara<sup>1,2</sup>, Gustavo Hernández Luna<sup>1</sup>,  
Nélida Navarro Reyes<sup>1</sup> y Ernesto Moreno Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Investigación en Granos y Semillas, FESC-UNAM,

<sup>2</sup>Unidad de Investigación Multidisciplinaria, FESC-UNAM.

viayy@yahoo.com, joslara2004@yahoo.com.mx

### RESUMEN

El objetivo fue evaluar extractos de gobernadora y ajeno aplicados en semillas de maíz, sobre el daño producido por *Prostephanus truncatus* a nivel de peso del grano dañado, emergencia de la progenie en el maíz y además determinar el efecto fitotóxico de los tratamientos sobre las semillas en el almacén. Se experimentó con extractos etanólicos obtenidos de la maceración de polvos vegetales elaborados a partir de plantas secas. Las semillas de maíz tratadas con los extractos fueron almacenadas con veinte insectos adultos por 10, 20 o 30 días. Al cabo de estos períodos, los insectos se retiraron y las semillas se almacenaron hasta contar la progenie total de adultos. Las dosis de extractos probadas disminuyeron la emergencia total de insectos en el tratamiento a 30 días. El grano dañado también disminuyó en todos los tratamientos y los extractos no presentaron efectos adversos sobre el poder germinativo de las semillas.

**PALABRAS CLAVE:** Poscosecha, *Zea mays*, extractos vegetales, *Larrea*, *Artemisia*

### ANTECEDENTES

El barrenador mayor de los granos *Prostephanus truncatus* (Horn) es un insecto que habita en plantas leñosas y arbustivas, sin embargo está adaptado a los almacenes de granos como el maíz. Este gorgojo mide aproximadamente 3 o 4 mm de largo y se considera como la plaga que más pérdidas causa en poscosecha. Para el control de éste y otras plagas de almacén se utilizan insecticidas sintéticos tóxicos, pero cada vez crece más el interés en aprovechar el potencial que ofrecen las plantas y sus extractos. La gobernadora, como se conoce al arbusto de *Larrea tridentata*, crece abundantemente en forma silvestre en zonas semidesérticas al norte de México. En la literatura se le reconoce su poder fungicida y bactericida, pero sus propiedades plaguicidas contra insectos de almacén no están claras. Por su parte el ajeno, que corresponde a la especie *Artemisia absinthium*, se recomienda como repelente de gorgojos, orugas y ácaros en plantaciones de maíz pero su efecto repelente poscosecha, mediante aplica-

ción directa en el grano, no se ha comprobado. Los extractos vegetales comúnmente provocan efectos repelentes, modifican el comportamiento, inhiben la alimentación o alteran el desarrollo normal de larvas.

### OBJETIVO

Determinar el efecto de la aplicación de extractos etanólicos de *Larrea tridentata* (gobernadora) y *Artemisia absinthium* (ajeno) en maíz almacenado, como un acondicionamiento preventivo del daño por *Prostephanus truncatus* (el barrenador mayor de los granos) sin afectar el poder germinativo de las semillas.

### PARTE EXPERIMENTAL

Se trabajó con maíz blanco con 100% de germinación inicial. Se obtuvieron extractos etanólicos, macerando 50 g de polvo vegetal de gobernadora y ajeno en la oscuridad por 26 días con 300 ml de

etanol al 96%. El alcohol resultante de la maceración se filtró en papel Whatman número 1 y posteriormente se evaporó en rotavapor. El extracto se resuspendió con la cantidad necesaria de agua para ajustar el maíz a un contenido de humedad de 13%. Las unidades experimentales (UE) consistieron en frascos de vidrio con tapas con malla de acero inoxidable, conteniendo 150 gramos de maíz. Cada extracto se aplicó y mezcló hasta cubrir las semillas. Para determinar el efecto fitotóxico de los extractos, se realizaron pruebas de germinación a las semillas tratadas y se utilizó semilla limpia como testigo. Después, las UE se infestaron con veinte insectos adultos de *Prostephanus truncatus*. Las UE fueron almacenadas en un cuarto de cría con temperatura y humedad controladas, a 25°C por 10, 20 y 30 días. Después se retiraron los insectos y las UE se incubaron en las mismas condiciones de temperatura y humedad para permitir la emergencia de la progenie. Se registró la emergencia total de insectos. Al final del experimento se pesó la semilla dañada por los gorgojos. El modelo experimental fue completamente aleatorio con tres repeticiones. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey en el software GraphPad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para conocer el efecto de los extractos vegetales sobre el comportamiento reproductivo de *P. truncatus*, se cuantificaron los insectos adultos que se desarrollaron durante aproximadamente 35-40 días, en cada dispositivo o unidad experimental y que corresponden a la progenie resultante de la reproducción de 20 adultos que permanecieron en la semilla tratada por 10, 20 o 30 días. En la tabla 1 se presentan estos resultados. No se encontró un efecto adverso de los tratamientos con gobernadora y ajeno sobre la emergencia de la progenie, a los 10 y 20 días de permanencia de los progenitores en las UE. Sin embargo, cuando los adultos permanecieron por 30 días, aparentemente mostraron sensibilidad a ambos extractos por igual, encontrándose una mayor cantidad de adultos en los testigos correspondientes y una cantidad estadísticamente menor en las semillas tratadas con los extractos. Estos datos sugieren que posiblemente hay cierta tolerancia a la presencia de los compuestos químico-

cos de los extractos vegetales a un corto plazo, pero al mes ya se ven afectados, de modo que se refleja en la baja emergencia encontrada. Es posible que el efecto adverso de los extractos tuviera como blanco a los huevecillos o a las larvas, que no lograron desarrollarse hasta su etapa adulta. En el caso del ajeno, existen artículos que señalan el efecto del aceite esencial de esta planta como inhibidora del desarrollo larval en *Drosophila*.

**Tabla 1.** Emergencia de insectos de *Prostephanus truncatus* en maíz tratado con extractos vegetales.

Extracto	Almacén (días)	Emergencia (No. total de insectos)	
		Con extracto	Testigo
Gobernadora	10	141 B*	205 AB
	20	159 AB	247 A
	30	48 C	143 B
Ajeno	10	141 B	68 C
	20	143 B	116 BC
	30	50 C	141 B

\*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $P < 0.05$ ).

Para estudiar el efecto de los extractos vegetales de ambas especies de plantas sobre el porcentaje de daño en las semillas se registró el peso del grano dañado por insectos ya sea por alimentación u oviposición, y los resultados se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Daño por *P. truncatus* en la semilla de maíz tratada con extractos vegetales.

Extracto	Almacén (días)	Semillas dañadas (gramos)	
		Con extracto	Testigo
Gobernadora	10	21 CD*	38 A
	20	17 D	36 A
	30	15 D	37 A
Ajeno	10	17 D	18 D
	20	21 CD	25 BC
	30	20 CD	28 B

\*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $P < 0.05$ ).

El efecto del extracto de gobernadora sobre la disminución de la cantidad de grano con daño, fue mayor comparado con el tratamiento con extracto de ajeno, para los tres períodos de exposición a los adultos (10, 20 y 30 días). Estos resultados podrían atribuirse posiblemente a que los extractos contienen abundantes

aceites esenciales, flavonoides, terpenos, fenoles y taninos, entre otros componentes con efecto de disuasión de la alimentación. En el caso de la gobernadora, se conoce que el ácido nordihidroguayarático, que es el principal componente, del tipo lignano, le confiere poder antioxidante y citotóxico, reconociéndose esta planta por tener además gran efecto fitotóxico.

Para conocer si la dosis de extracto aplicada a las semillas tenía un efecto fitotóxico, se realizaron pruebas de germinación estándar a las semillas tratadas con ambos extractos. Como testigo se utilizó un lote de las mismas semillas limpias, sin tratar. Los resultados se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Poder germinativo de las semillas de maíz tratadas con extractos vegetales.

Extracto	Almacén (días)	Semillas germinadas (%)	
		Con extracto	Testigo
Gobernadora	10	91 AB*	100 A
	20	86 AB	100 A
	30	68 B	100 A
Ajenjo	10	91 AB	100 A
	20	93 AB	100 A
	30	85 AB	100 A

\*Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $P < 0.05$ ).

No se encontró una diferencia estadística significativa entre el porcentaje de semilla germinada en las UE de maíz tratado con ambos extractos comparado al maíz testigo (aunque los valores numéricos fueron menores). Esto sugiere que las dosis probadas no son fitotóxicas, aún en el caso de la gobernadora, donde se encontraron algunas pocas semillas germinadas menos vigorosas.

Se deben evaluar pruebas a mayores tiempos de almacenamiento de la semilla tratada con estos extractos vegetales, ya que en ocasiones es necesario conservar el maíz hasta por dos años en los almacenes rurales.

Es importante resaltar que en las pruebas de germinación estándar se observó desarrollo de hongos en las semillas tratadas con ajenjo, a diferencia de las semillas tratadas con el extracto de gobernadora que se apreciaron completamente libre de estos microorganismos. Confirmando el poder antifúngico de *Larrea tridentata* reportado por otros autores.

## CONCLUSIONES

Los tratamientos con los dos extractos vegetales evaluados disminuyeron el número de insectos adultos de la progenie, para el tratamiento a 30 días.

Los extractos de gobernadora y ajenjo disminuyeron el peso de grano de maíz dañado, por lo que ayudó a reducir las pérdidas atribuidas a *P. truncatus* durante el almacenamiento.

La concentración evaluada de los extractos de ajenjo y gobernadora no mostraron fitotoxicidad importante en las semillas de maíz, por lo que su uso aparentemente es seguro para no afectar el poder germinativo.

Deben realizarse estudios sobre el efecto de los dos extractos sobre la eclosión de huevecillos y sobre el desarrollo de larvas, para conocer a qué se atribuye la disminución en la progenie por efecto de los tratamientos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo otorgado por el proyecto PAPIME PE204217.

## REFERENCIAS

- [1] Gueye, M., Goergen, G., Badiane, D., Hell, K., Lamboni, L. (2008). *African Entomology*, 16, 309–311. doi: 10.4001/1021-3589-16.2.309
- [2] Chebet, F., A.L. Deng, J.O., Ogendo, A.W., Kamali, P.K., Bett. (2013). *Plant Protect. Sci.* 49, 34-43.
- [3] García, M. M. (2005). Tesis UAAAN. 46 p.
- [4] Bourne-Murieta, L.R; Wong-Corral, J.; Borboa-Flores, J., Cinco-Moroyoqui, J. (2014). *Revista Chapingo*, 20, 73-75.
- [5] Arteaga, S., Andrade-Cetto, A., Cárdenas, R. (2005). *Larrea tridentata* (Creosote bush), an abundant plant of Mexican and US-American deserts and its metabolite nordihydroguaiaretic acid. *Journal of ethnopharmacology*. 98 (3), 231-239.
- [6] de Rodríguez, F.D.J., Hernández-Castillo D., Solís-Gaona S., Rodríguez-García R., Rodríguez-Jasso R.M. (2012). *Flourensia cernua* DC: A Plant from Mexican Semiarid Regions with a Broad, Integrated Pest Management and Pest Control - Current and Future Tactics, Dr. Sonia Soloneski (Ed.), ISBN: 978-953-51-0050-8.
- [7] Akhtar M., Arshad M., Raza A.B.M., Chaudhary M.I., Iram N., Akhtar N., Mahmood T. (2013). Repellent effects of certain plant extracts against rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Int. J. Agric. Appl. Sci.* 5(1), 69–73.
- [8] Dane, Y., Mouhouche, F., Canela-Garayoa, R., Delpino-Rius, A. (2016). Phytochemical Analysis of Methanolic Extracts of *Artemisia absinthium* L. 1753 (Asteraceae), *Juniperus phoenicea* L., and *Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast, 1892 (Cupressaceae) and evaluation of their biological activity for stored grain protection. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41, 2147–2158.
- [9] Mihajilov-Krstev, T., Jovanović, B., Jović, J., Ilić, B., Miladinović, D., Matejić, J., Rajković, J, Đorđević, L., Cvetković, V., Zlatković, B. (2014). Antimicrobial, Antioxidative, and Insect Repellent Effects of *Artemisia absinthium* Essential Oil. *Planta Med.* 80:1698-1705.



## ESTUDIO DE LOS COMPONENTES DE NATURALEZA POLISACÁRIDA EN RAÍZ DE *Sechium edule* (CHINCHAYOTE)

Wendy Magaly Arias Balderas<sup>1</sup>, Miguel Ángel Aguilar Méndez\*<sup>1</sup>, Delia Quintana Zavala<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Legaria

miguel\_agme@hotmail.com

### RESUMEN

El chinchayote es una parte de las raíces tuberizadas de la planta del chayote, siendo la parte más nutritiva de la planta, actualmente es consumido como alimento en algunas regiones de México para acompañar platillos; sin embargo, no ha sido estudiado a profundidad aun cuando se tienen indicios de que es una fuente principal de polisacáridos, como almidón y su costo no es elevado, es por ello que el presente trabajo tuvo por objetivo la extracción y caracterización de los polisacáridos presentes en la misma, obteniéndose como componente mayoritario almidón, mismo al que se realizaron análisis morfológicos y reológicos. El contenido de fructanos fue de 2.78%, mientras que se registró un contenido de 3.84% para fibra dietética insoluble. El rendimiento de almidón obtenido por extracción fue de 76.3%, del cual el 12.67% fue almidón resistente. Las micrografías mostraron que los gránulos de almidón presentan una forma esférica con tamaño entre 5 y 30 $\mu$ m, mientras que el análisis de viscosidad proporcionó un valor de casi 12000cp en comparación con almidones comerciales.

**PALABRAS CLAVE:** polisacáridos, fructanos, fibra, almidón, almidón resistente, viscosidad.

### ANTECEDENTES

Los carbohidratos son biomoléculas de gran importancia en la alimentación, desempeñan diversas funciones tales como: proporcionar energía, funcionar como reserva energética, ser precursores de ácidos grasos, etc; algunos además presentan una funcionalidad en nuestro organismo al ser consumidos. Entre éste tipo se encuentran polisacáridos como el almidón, formado a partir de dos estructuras principales; amilosa y amilopectina, cuyas características principales son una cadena lineal con enlaces  $\alpha$ -1,4-glicosídico en el caso de la primera y el mismo tipo de cadena además de presentar ramificaciones del tipo  $\alpha$ -1,6-glicosídico para la segunda. Existe además una parte del mismo que logra resistir el proceso de digestión pasando intacto a intestino grueso, ésta porción del polisacárido se ha nombrado almidón resistente.

“La fibra dietética es otro componente, el cual no es digerido en el tracto digestivo, logrando su paso a intes-

tino grueso donde es fermentado, algunos ejemplos son los fructooligosacáridos, pectinas, almidón resistente, inulina, etc” [2]. Por último los fructanos son carbohidratos que se encuentran en forma de reserva en diferentes plantas y alimentos, son polímeros de fructosa, “hasta el momento se han encontrado cinco tipos de ellos: inulina, neoseries de inulina, levana, neoseries de levana y fructanos de gramíneas” [3].

Éste tipo de polisacáridos tienen en común que al resistir el proceso de hidrólisis durante la digestión, otorgan distintos beneficios a la salud, ya que se ha encontrado entre éstos, un efecto prebiótico, entre otros.

### OBJETIVO(S)

Extraer y Caracterizar los componentes de naturaleza polisacárida (fibra, almidón y fructanos) presentes en la raíz de *Sechium edule*, mediante métodos analíticos e instrumentales.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se realizó Análisis Químico Proximal (AQP) a la raíz tuberizada de chayote (chinchayote). Posteriormente se realizó la extracción de los polisacáridos de interés: Fructanos por el método enzimático-colorimétrico 999.03 AOAC [1], utilizando 1g de muestra. Fibra dietética, con el método enzimático-gravimétrico 991.43 AOAC. Almidón con método alcalino y almidón resistente mediante el método enzimático-colorimétrico 2002.02 AOAC. Finalmente se llevó a cabo la caracterización morfológica, reológica y textural del componente mayoritario (almidón) comparando contra almidones de papa y maíz respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el AQP realizado se obtuvo que el componente mayoritario es agua, seguido de carbohidratos con un 18.83%. El contenido de fructanos fue de 2.78% en materia seca, el cual fue un resultado mayor al obtenido en algunos otros tubérculos. Se corroboró un contenido de 3.84% de fibra dietética insoluble. El rendimiento de almidón obtenido por extracción fue de 76.3%, del cual el 12.67% fue almidón resistente. Las micrografías obtenidas mostraron que los gránulos de almidón presentan una forma esférica con tamaño entre 5 y 30 $\mu$ m, mientras que el análisis de viscosidad proporcionó un valor de casi 12000cp comparado con la viscosidad obtenida para almidones de papa y maíz, se obtuvo un comportamiento muy similar al almidón de papa, mientras que presentó un valor mayor comparado con el almidón de papa. Finalmente en el análisis de textura se observó un valor de dureza de 80gf, valor que es menor al obtenido para el de papa que fue de 150gf a las 48hrs de haber preparado los gels, éstos valores se vieron incrementados al realizar las mediciones 8 días después pero presentando la misma tendencia a la anterior.

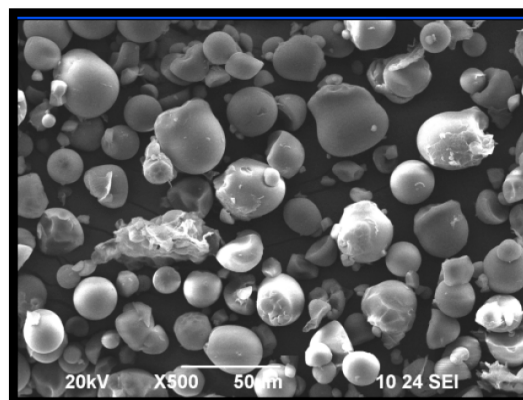


Figura 1. Micrografía de Almidón de Chinchayote.

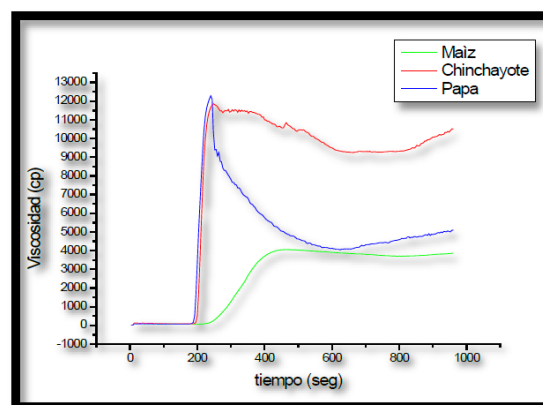


Figura 2. Análisis de Viscosidad de distintos almidones.

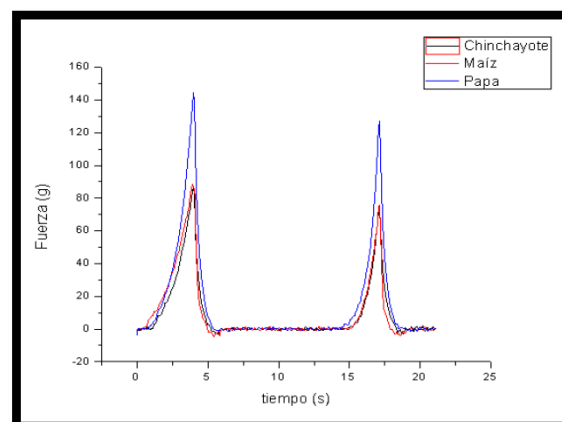


Figura 3. TPA para almidones a las 48 h.

## CONCLUSIONES

La raíz de chayote presenta un contenido importante de fructanos comparado con otros tubérculos aunque menor al de otras fuentes principales; así mismo represente una buena fuente de fibra dietética. El almidón de chinchayote obtenido, reológicamente y texturalmente presenta muy buen comportamiento comparado con el de maíz y de papa, generando mayor viscosidad que el primero y menor retrogradación que el segundo, proporcionando excelentes propiedades de formación de geles, además de contener una porción importante de almidón resistente.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Politécnico Nacional (IPN) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo en el desarrollo de la presente investigación.

## REFERENCIAS.

- [1] AOAC. (1988). Official Methods of Analysis of AOAC International.
- [2] Nouredine, B. (2013). Fructooligosaccharides and fructans analysis in plants and food crops. *Journal of Chromatography A*. 1313 54-61
- [3] Olagnero G., Abad A., Bendersky S., Genevois C., Granzella L., Montonati S. (2007). Alimentos Funcionales: Fibra, prebiótico, probiótico y simbióticos. *Diaeta*, 25 (121) Buenos Aires 19-30.

## CONTROL DE LA ANTRACNOSIS Y MAS VIDA ÚTIL DEL AGUACATE CON RECUBRIMIENTO DE QUITOSÁN MEJORADO

Bibiana Leonor López González<sup>1</sup>, Ma. Cristina J Pérez Reyes<sup>2</sup>,  
Daniela Hernández Regino<sup>1</sup>, \*Susana Patricia Miranda Castro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Biotecnología, <sup>2</sup>Unidad de Investigación de Granos y Semillas  
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

yoleob73@gmail.com, crisp28@yahoo.com.mx , danyhr.1293@gmail.com, spmcunam55@gmail.com

### RESUMEN

El aguacate es susceptible a enfermedades postcosecha como la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. En este estudio se desarrollaron varios recubrimientos de quitosán mejorado y aceites esenciales (tomillo, canela, clavo y mezcla de estos). Todos los tratamientos exhibieron capacidad antifúngica y el quitosán solo exhibió actividad fungicida en pruebas microbiológicas. Los frutos fueron recubiertos, almacenados y sometidos a pruebas físicas y químicas para evaluar la calidad. Los resultados muestran que la aplicación del recubrimiento duplicó el tiempo de vida útil, retardando el desarrollo del hongo hasta por 14 días.

**PALABRAS CLAVE:** Quitosán, recubrimiento, aguacate, antracnosis, vida útil.

### ANTECEDENTES

El aguacate desempeña un papel importante en la nutrición humana debido a sus propiedades nutricionales [3]. México, representa más del 30% de la cosecha mundial y es el principal productor y exportador de aguacate en el mundo a países como China, Chile y Australia, siendo Estados Unidos el principal importador de aguacate mexicano [12]. El aguacate es afectado por varias enfermedades que dañan el fruto y se han convertido en la mayor amenaza del comercio internacional del aguacate. La antracnosis es la principal enfermedad postcosecha que afecta al aguacate, causado por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz, los daños ocasionan pérdidas sustanciales durante el almacenamiento y comercialización y se caracteriza por la presencia de manchas circulares café oscuras en el pericarpio y daños por ablandamiento y pudrición del mesocarpio [5].

A través de los años se han usado métodos para retardar la maduración y conservar el fruto como la refrigeración, atmósferas controladas, aplicación de cera

y tratamientos térmicos [11]. La aplicación de recubrimientos comestibles mejora la apariencia y tienen potencial de retrasar o inhibir el desarrollo de microorganismos patógenos [10]. El quitosán es uno de los materiales formadores de películas y es un copolímero compuesto por unidades de N-acetil-D-glucosamina y D-glucosamina que se obtiene de la desacetilación de la quitina. Se ha encontrado que el quitosán es biodegradable, biofuncional, biocompatible, no tóxico y ha sido reportado por varios investigadores por tener fuertes actividades antimicrobianas y antifúngicas [1]. Las películas de quitosán son sistemas que pueden portar ingredientes activos como los aceites esenciales (EO). Los aceites esenciales son productos importantes de la industria basada en la agricultura y han sido utilizados como compuestos antimicrobianos contra patógenos bacterianos con gran potencial como alternativas a los fungicidas sintéticos para el control de enfermedades y mantenimiento de calidad alimentos como tomates, arándanos, fresas, aguacates y cítricos [11,13].

## OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue evaluar un recubrimiento a base de quitosán mejorado sobre aguacate variedad Hass (*Persea americana Mill*) para extender el tiempo de vida útil contra la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Cultivo e identificación de *Colletotrichum gloeosporioides*

Los aislamientos de *C. gloeosporioides* se obtuvieron de frutos enfermos provenientes del Estado de Morelos y fueron cultivados en medio agar papa destroxa (PDA), las placas se incubaron en un fotoperiodo de 12 h de luz y 12 h de oscuridad a 28°C. Para identificar la morfología del hongo se observaron las características macroscópicas principales como el tamaño, color, presencia de micelio y forma de la colonia y se elaboraron preparaciones semipermanentes con azul de algodón para la observación de la micromorfología e identificar a nivel especie siguiendo las claves de Mathur y Kongsdal [9].

### Pruebas *In vitro*, evaluación antifúngica del quitosán mejorado

#### Preparación del quitosán

El quitosán mejorado se obtuvo a partir de las cáscaras de camarón siguiendo la patente Mexicana No. 293022 al cual se le hicieron modificaciones. Se preparó una solución de quitosán mejorado al 1% y se le ajustó el pH a 5. Con la solución de quitosán mejorado se preparó el medio PDA y se adicionó Tween 80. En forma estéril se adicionaron los aceites esenciales (tomillo, canela y clavo) hasta obtener las concentraciones de 200, 300, 400 y 500 ppm de cada aceite esencial y de la mezcla de ellos.

#### Prueba de crecimiento en agar

Se evaluó el efecto del quitosán sobre el crecimiento micelial tomando explantes discoidales de la colonia de *C. gloeosporioides* aislada y purificada, donde se midió el crecimiento micelial de los hongos cada 24 h durante 8 días. Se registraron medidas radiales diarias (mm) de crecimiento hasta que el hongo alcanzó el borde de la placa

#### Evaluación *In Vitro* de la actividad fungicida

Para identificar la actividad fungicida o fungistática, se transfirieron los explantes discoidales de los tratamientos de quitosán mejorado al 1% y quitosán con

aceites esenciales (tomillo, canela clavo y mezcla) que estuvieron en la prueba de crecimiento micelial a cajas nuevas de Petri con PDA, esta prueba se realizó por triplicado y se incubaron a 28 °C durante 8 días para observar si había desarrollo del hongo (actividad fungistática) o no había crecimiento (actividad fungicida).

### Pruebas *In Vivo*

#### Materia prima y aplicación del recubrimiento

Los aguacates fueron obtenidos del Estado de Morelos, se dividieron en dos grupos, se lavaron y secaron a temperatura ambiente. El primer grupo de aguacates se tomó como grupo control y el segundo grupo fue recubierto con quitosán mejorado al 1% mediante la técnica de inmersión durante 30 segundos, posteriormente se dejaron secar a temperatura ambiente por 2 horas. Pruebas físicas y químicas fueron realizadas tanto en el grupo control como en el grupo con recubrimiento. También se observó el desarrollo del hongo sobre el mesocarpio del fruto durante el almacenamiento.

#### Pérdida fisiológica de peso

Se utilizaron dos lotes de frutos de 500g cada uno, el primer grupo como control y el segundo con recubrimiento; cada grupo de aguacate se pesó diariamente. La pérdida de peso fue calculada como el porcentaje de diferencia entre el peso inicial y el peso final del lote.

#### Dureza

La prueba de dureza se realizó sobre el mesocarpio del fruto y se determinó con el penetrómetro universal utilizando como dispositivo el cono de 45°, registrando resultados de distancia penetrada.

#### Color

Se determinó el color del mesocarpio mediante el análisis de imagen por computadora de las fotografías tomadas de los frutos. Las fotografías se analizaron utilizando el programa Image J y el software NIX para obtener valores  $L^* a^* b^*$ , el croma y el ángulo Hue.

#### Contenido de aceite

Para determinar el contenido de aceite, se utilizó el método Soxhlet. La extracción duró 6 horas. Una vez extraída toda la grasa, el matraz se enfrió en un desecador y se pesó en una balanza analítica para calcular el porcentaje de grasa.

### Humedad

Para la determinación de la humedad se utilizó el método de secado por termobalanza. Se registró el porcentaje de humedad después de 20 minutos cuando el equipo ya no presentaba variación en la lectura [7].

### Actividad de agua ( $a_w$ )

Se utilizó el equipo Aqualab modelo CX-2. Se registraron los datos directamente de la pantalla digital del AquaLab.

### Análisis estadístico

Las pruebas fueron realizadas por triplicado y los resultados se analizaron mediante una prueba de t de student con un nivel de significancia de 0.05.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cultivo e identificación de *Colletotrichum gloeosporioides*

Después de 10 días de incubación se identificó el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* a través de su morfología colonial, presentó forma circular con formación de anillos concéntricos, color naranja-salmón y micelio algodonoso blanco que al aglomerarse formaba una masa micelial gris, figura 1.

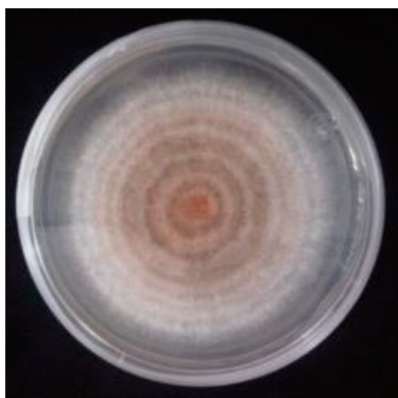


Figura 1. *C. gloeosporioides* en medio PDA.

### Prueba de crecimiento en agar

El crecimiento radial fue medido diariamente por 8 días y se muestran en las figuras 2, 3, 4 y 5. El hongo se desarrolló únicamente en medio PDA con un crecimiento de 18.82 mm por día hasta alcanzar un tamaño final de 84.25 mm.

Por otro lado, todos los tratamientos con quitosán mejorado al 1% y quitosán con aceites esenciales

(tomillo, canela clavo y mezcla) no presentaron crecimiento del hongo en ninguna caja Petri, por lo que comprueba su actividad antifúngica contra el hongo *C. gloeosporioides* Figura 2 con Tomillo, igual para los demás aceites.

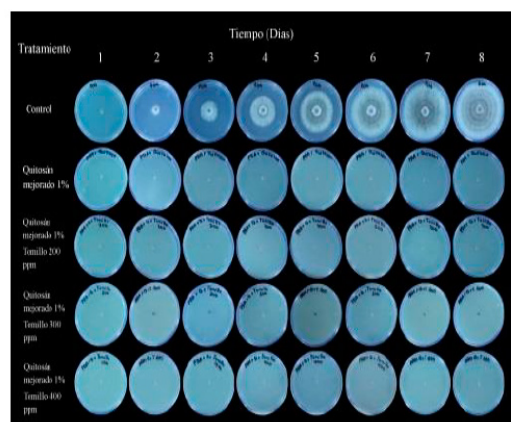


Figura 2. Crecimiento del hongo *C. gloeosporioides* durante 8 días a 28°C en fotoperiodo en PDA, quitosán mejorado 1% y tratamientos de quitosán con aceite esencial de tomillo a diferentes concentraciones.

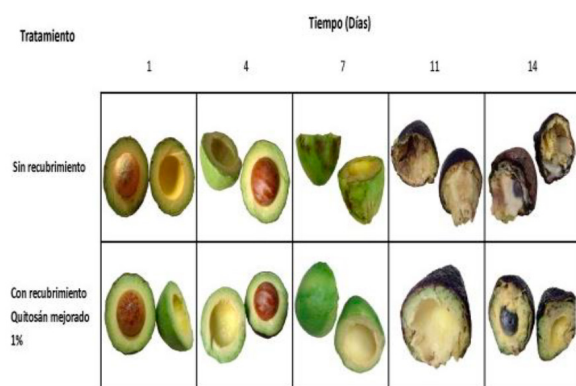
### Evaluación *in vitro* de la actividad fungicida

Las cajas de Petri con PDA con explantes discoidales de los tratamientos, no presentaron desarrollo de las del hongo, por lo que se determinó que todos los tratamientos presentaron una actividad fungicida, donde el quitosán modificado al 1% fue el componente que influyó totalmente en el crecimiento del hongo.

Bill et al., 2014, realizaron pruebas *In Vitro* de diferentes recubrimientos en entre ellos, quitosán (1% w/v), con un período de incubación de 7 días a 25°C, el quitosán presentó un crecimiento micelial radial de 15.2 mm mostrando un efecto fungistático sobre *C. gloeosporioides* [3].

Bautista-Baños et al., (2003) encontraron que el crecimiento micelial de *C. gloeosporioides* en pruebas *In Vitro*, fue inhibido completamente por concentraciones de quitosán de 2.5% y 3.0% durante el período de incubación de 7 días. Teniendo en cuenta investigaciones anteriores se puede decir que las mejoras al quitosán hechas en este estudio incrementaron su actividad fungicida manejando una concentración baja (1%) [2]. Evaluación de cambios físicos y químicos.

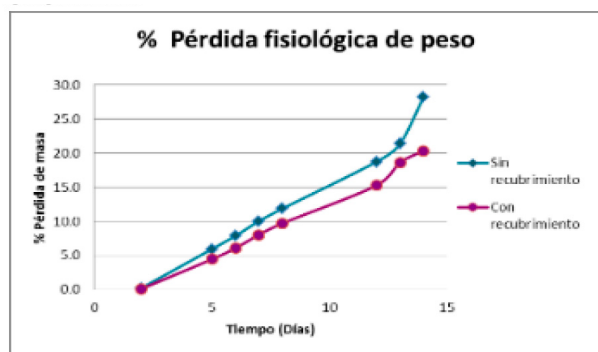
La figura 3, se muestra el avance de la enfermedad antracnosis en el mesocarpio del aguacate. Los frutos con recubrimiento de quitosán modificado al 1% no mostraron lesiones causadas por el hongo *C. gloeosporioides* hasta el día 14 de almacenamiento, sin embargo los frutos control mostraron presencia del hongo desde el séptimo día de almacenamiento con manchas oscuras y la aparición de micelio blanco.



**Figura 3.** Efecto del quitosán mejorado al 1% sobre aguacate variedad Hass durante el almacenamiento.

### Pérdida fisiológica de peso

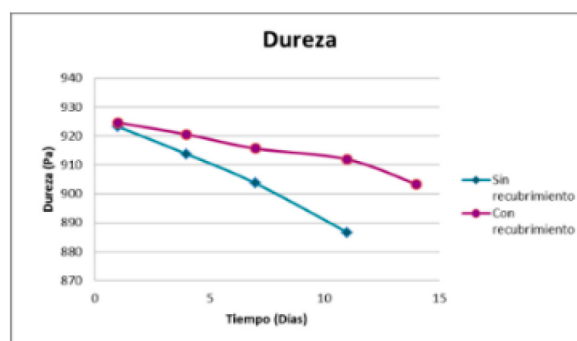
En la pérdida fisiológica de peso no se encontró diferencia significativa. En la figura 4, se observa el porcentaje de pérdida de peso, el cual fue mayor en todos los días para los aguacates sin recubrimiento y para ambos grupos se presentó una mayor pérdida de masa a partir del doceavo día de almacenamiento. La aplicación del recubrimiento contribuyó a conservar el peso durante el almacenamiento.



**Figura 4.** Porcentaje de pérdida de masa de los frutos sin recubrimiento y con recubrimiento de quitosán mejorado al 1% durante el almacenamiento.

### Dureza

La figura 5, muestra el análisis de dureza. En el análisis estadístico no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo, se tuvo una mayor pérdida de firmeza en los frutos sin recubrimiento a partir del séptimo día debido a la acción del hongo ocasionando ablandamiento del mesocarpio. Los frutos recubiertos con quitosán mejorado al 1% presentaron menores distancias de penetración y menor pérdida de la dureza.

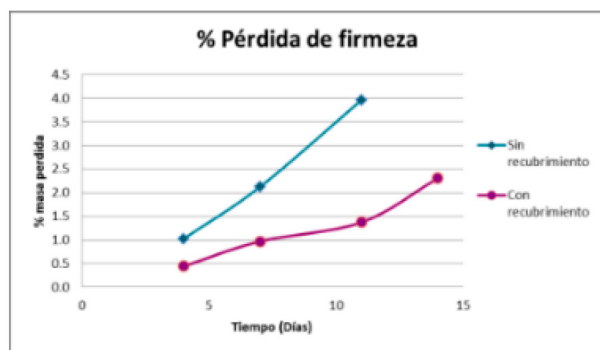


**Figura 5.** Dureza de los frutos sin recubrimiento y con recubrimiento de quitosán mejorado al 1% durante el almacenamiento.

La figura 6, muestra el porcentaje de firmeza donde se puede observar que los frutos sin recubrimiento tuvieron mayor pérdida de firmeza alcanzando un 4% de pérdida el día 11 de almacenamiento, casi el doble que los frutos recubiertos los cuales perdieron sólo 2.30% de firmeza.

### Color

En la tabla 1 se obtuvieron valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , croma y ángulo de hue, los cuáles estadísticamente presentaron diferencia significativa. Los valores de luminosidad ( $L^*$ ) señalan que los frutos sin recubrimiento perdieron brillo y oscurecieron con mayor velocidad mientras los frutos recubiertos con quitosán mejorado al 1% conservaron el brillo en el epicarpio del aguacate.



**Figura 6.** Pérdida de firmeza de los frutos sin recubrimiento y con recubrimiento de quitosán mejorado al 1% durante el almacenamiento.

El parámetro  $a^*$  mostró que los frutos con recubrimiento mantuvieron valores negativos que muestran el espectro verde como el predominante en el exocarpio del aguacate, en cambio los valores de los frutos sin recubrimiento aumentaron rápidamente hasta tomar colores rojizos, el cual es resultado una mayor velocidad de maduración [8].

El valor de  $b^*$  en frutos sin recubrimiento disminuyó rápidamente acercándose al cromatismo azul oscuro mientras la aplicación del recubrimiento retardó el cambio hacia el color púrpura-negro de un aguacate maduro.

Tabla 1. Valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , cromatismo y ángulo de hue de los aguacates sin y con recubrimiento, durante el almacenamiento.

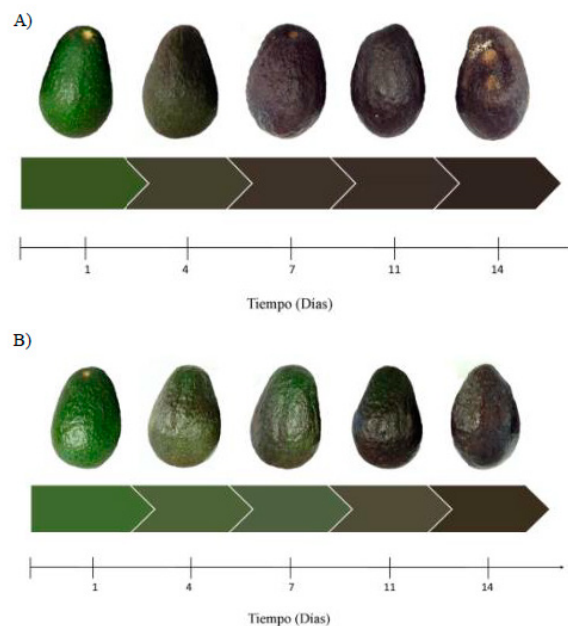
Día	$L^*$		$a^*$		$b^*$		Croma		Ángulo hue	
	Sin*	Con*	Sin*	Con*	Sin*	Con*	Sin*	Con*	Sin*	Con*
1	34	41.8	-14.5	-19.5	23.4	27.9	27.5	34.1	124	124
4	28.2	40.2	-1.6	-12	10.7	20.6	10.8	23.9	98.3	120.3
7	23.6	35.3	1.9	-4.9	6.8	14.8	7.1	15.6	74.6	108.3
11	21.6	32.2	3.2	-1.4	6	11.8	6.8	11.9	62.3	96.5
14	17.5	22.1	3.4	1.1	5.6	11.3	6.6	11.4	58.3	84.6

Los frutos sin recubrimiento tuvieron valores bajos de cromatismo, presentando colores pálidos en su proceso de maduración, por otro lado, los frutos recubiertos obtuvieron valores mayores de cromatismo dando colores más fuertes y vivos; esto se atribuye

al efecto que tuvo la película al conservar e intensificar el color del aguacate.

En el ángulo de hue (h) los frutos sin recubrimiento pasaron del espectro verde hasta tomar valores del espectro amarillo-rojo en menor tiempo, contrario a los frutos con recubrimiento que mantuvieron valores del espectro verde hasta llegar al espectro amarillo.

Con los valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , las fotografías tomadas y las imágenes de color obtenidas con el software NIX, se elaboró una escala de cambio de color conforme al tiempo figura 7, donde se observó que los frutos con recubrimiento conservaron por mayor tiempo la presencia de tonos color verde incluso después de 11 días de almacenamiento mientras que los frutos control para el séptimo día de almacenamiento mostraron un cambio de color hacia tonos más oscuros alejados del tono verde y el día 14 se observaron las lesiones provocadas por el hongo en el exocarpio del aguacate, manchas secas circulares hundidas de color café y presencia de micelio blanco.



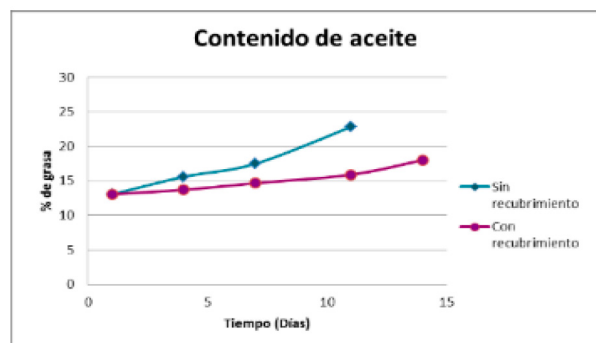
**Figura 7.** Escala de cambio de color en A) frutos sin recubrimiento y B) frutos con recubrimiento de quitosán mejorado al 1% durante el almacenamiento.



### Contenido de aceite

El análisis estadístico indica que no existe diferencia significativa entre el contenido de aceite de los frutos sin recubrimiento y los frutos con recubrimiento de quitosán mejorado al 1%, para ambos tratamientos se presentó un aumento del contenido de aceite conforme al tiempo, figura 8, pero fue mayor en los frutos sin recubrimiento alcanzando un total de 22.81%, lo que indica un mayor avance en el proceso de maduración y en menor tiempo en comparación con los frutos recubiertos que alcanzaron valores de 17.98%.

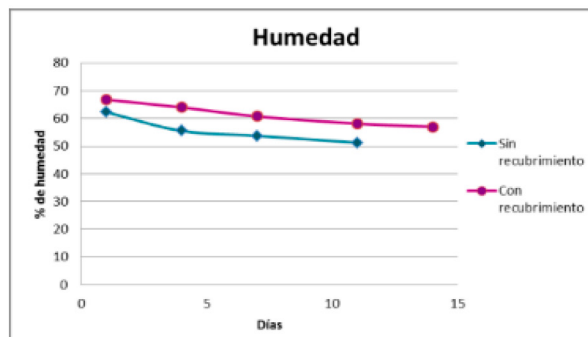
El contenido de grasa aumenta durante el crecimiento del fruto y durante el proceso de maduración, utilizándose como indicador para determinar el estado de madurez de la fruta y su calidad en general [4]. Por lo que la aplicación del recubrimiento no afectó a este parámetro y conservó una buena calidad e índice de madurez comercial del fruto.



**Figura 8.** Contenido de aceite de los frutos sin recubrimiento y con recubrimiento de quitosán mejorado al 1% durante el almacenamiento.

### Humedad

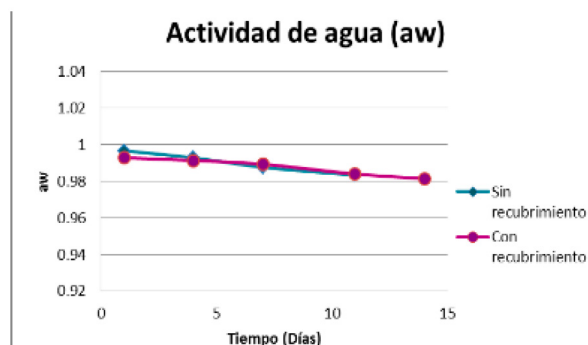
El análisis estadístico mostró que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. Los valores de humedad fueron disminuyendo conforme al tiempo para ambos grupos, figura 9, en el segundo día de almacenamiento se observa un cambio mayor, los frutos recubiertos presentaron una humedad de 63.9% mientras que los frutos sin recubrimientos 55.4%, La aplicación del recubrimiento no afectó la transferencia de vapor de agua del interior de los frutos al exterior y permitió el intercambio de gases y la maduración adecuada del fruto.



**Figura 9.** Contenido de humedad de los frutos sin recubrimiento y con recubrimiento de quitosán mejorado al 1% durante el almacenamiento.

### Actividad de agua ( $a_w$ )

Se obtuvieron valores de  $a_w$  de 0.99 y 0.98 para los frutos sin recubrimiento y los frutos recubiertos con quitosán mejorado al 1% respectivamente, figura 10, por lo que el análisis estadístico no señala que exista diferencia significativa. Los valores de actividad de agua ( $A_w$ ) no variaron durante el almacenamiento, lo que sugiere que la aplicación del recubrimiento no afecta al metabolismo del fruto y permite que exista agua libre para que se lleven a cabo las reacciones químicas y enzimáticas.



**Figura 10.** Actividad de agua de los frutos sin recubrimiento y con recubrimiento de quitosán mejorado al 1% durante el almacenamiento.

## CONCLUSIONES

En los estudios realizados *In Vitro* el quitosán modificado (1%) y los aceites esenciales de canela tomillo y clavo y la mezcla de ellos a concentraciones de 200, 300, 400 y 500 ppm mostraron un efecto fungicida sobre el hongo *C. gloeosporioides*.

La aplicación del recubrimiento a base de quitosán modificado (1%) mostró un efecto positivo al retardar maduración del fruto y el desarrollo del hongo causante de la antracnosis en el aguacate, duplicó el tiempo de vida útil de los frutos y conservó parámetros de calidad como la pérdida fisiológica de peso, dureza, color, contenido de aceite, humedad y actividad de agua.

## AGRADECIMIENTOS

A los proyectos PIAPI 1642 "Infección e inmunidad" y PAPIIME PE204217.

## REFERENCIAS

- [1] Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 837–842. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.021>
- [2] Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E., & Wilson, C. L. (2003). Effects of chitosan and plant extracts on growth of *Colletotrichum gloeosporioides*, anthracnose levels and quality of papaya fruit. *Crop Protection*, 22(9), 1087–1092. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(03\)00117-0](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00117-0)
- [3] Bill, M., Sivakumar, D., Korsten, L., & Thompson, A. K. (2014). The efficacy of combined application of edible coatings and thyme oil in inducing resistance components in avocado (*Persea americana* Mill.) against anthracnose during post-harvest storage. *Crop Protection*, 64, 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.015>
- [4] Ceballos P., A. M., & Montoya B., S. (2013). Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Biotecnología En Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 103–112. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a13.pdf>
- [5] Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, M. B. N., Guillén-Andrade, H., & Chávez-Bárcenas, A. T. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en michoacán, México. *Interciencia*, 35(9), 647–653. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33914212003>
- [6] Imelouane, B., Amhamdi, H., Wathélet, J., Ankiti, M., Khedid, K., & El Bachiri, A. (2009). Chemical Composition and Antimicrobial Activity of Essential Oil of Thyme (*Thymus vulgaris*) from Eastern Morocco. *International Journal of Agriculture & Biology*, 11(5), 205–208. <https://doi.org/hdl.handle.net/2268/16021>
- [7] Kirk, R. S., Sawyer, R., & Egan, H. (2011). *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson* (2nd ed.). México:CECSA.
- [8] Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2005). Postharvest shelf-life extension of avocados using methyl cellulose-based coating. *LWT - Food Science and Technology*, 38(6), 617–624. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.08.007>
- [9] Mathur, S. B., & Kongsdal, O. (2003). *Common Laboratory Seed Health Testing Methods for Detecting Fungi*. Dinamarca: International Seed Testing Association.
- [10] Ozdemir, F., & Topuz, A. (2004). Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. *Food Chemistry*, 86(1), 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.012>
- [11] Román Mares, E. A., & Yahia Kazuz, E. (2002). Manejo postcosecha del aguacate. *Vitae*, 9(2), 5–16. Recurado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169818107001>
- [12] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017). *Atlas Agroalimentario 2017*. [http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2017/Atlas-Agroalimentario-2017](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2017/Atlas-Agroalimentario-2017).
- [13] Shao, X., Cao, B., Xu, F., Xie, S., Yu, D., & Wang, H. (2015). Effect of postharvest application of chitosan combined with clove oil against citrus green mold. *Postharvest Biology and Technology*, 99, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.07.014>

## TRATAMIENTO DE NEJAYOTE CON OPUNTIA FICUS-INDICA

Allison Yahitsu Díaz Avalos<sup>1</sup>, María Cristina Julia Pérez Reyes<sup>2</sup>,  
Elsa Gutiérrez Cortez<sup>3</sup>, María del Carmen Valderrama Bravo<sup>\*3,4</sup>

<sup>1</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, IPN,

<sup>2</sup>Unidad de Investigación de Granos y Semillas, FES-C, UNAM

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería y Tecnología de la FES-C, UNAM,

<sup>4</sup>Departamento de Matemáticas de la FES-C, UNAM.

yahi2929@gmail.com, carmenvalde@yahoo.com.mx

### RESUMEN

En México el maíz es el cereal más consumido en diferentes productos, como lo son la tortilla, los tamales, totopos, entre muchos otros alimentos derivados de este cereal. Para que el maíz sea transformado en alguno de estos productos se necesita llevar a cabo primero una nixtamalización, la cual es un proceso en el que se utiliza una gran cantidad de agua la cual sale como desecho, llamado nejayote, con un pH de hasta 13, con materia orgánica y siendo un agua con alta dureza, ya que durante el proceso se utiliza agua con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . El nejayote es desechado al alcantarillado sin previo tratamiento, provocando contaminación al ambiente además de dañar el alcantarillado. Por lo anterior se propuso tratar el agua física y químicamente que sale del proceso llamado nejayote utilizando como coagulante natural, polvo de nopal (*Opuntia ficus-indica*).

**PALABRAS CLAVE:** Nejayote, nopal, filtración, centrifugación

### ANTECEDENTES

En México una de las principales industrias es la transformación de maíz para la obtención de masa para la producción de tortilla u otros productos relacionados [1]. La Nixtamalización es un proceso muy antiguo desarrollado por las culturas Mesoamericanas y aún es utilizado para la producción de tortillas. De acuerdo a la NOM-147-SSA1-1996 [2], se denomina maíz nixtamalizado o nixtamal, al maíz sano y limpio que ha sido sometido a cocción parcial con agua en presencia de hidróxido de calcio (cal) [3]. Durante este proceso se usan grandes cantidades de agua y producen un efluente, mejor conocido como nejayote. Estas aguas residuales son consideradas altamente alcalinas y ricas en diversos componentes como: hidróxido de calcio, sólidos solubles, pericarpio y fibra, así como compuestos fenólicos [1]. Las aguas residuales generadas durante la nixtamalización se les ha concedido poca importancia ya que son consideradas aguas de desecho y generalmente son arrojadas al drenaje o directamente al entorno, contribuyendo así al problema

de contaminación ambiental, ya que estas poseen una demanda bioquímica de oxígeno del orden de 2700 mg O<sub>2</sub>/L y un pH altamente básico que llega a ser de hasta 13. Un método de tratamiento de aguas es la coagulación, etapa crítica del proceso de potabilización del agua, y sólo puede conseguirse mediante la adición de un agente coagulante, capaz de neutralizar las cargas electrostáticas de los coloidales suspendidos en el agua, permitiendo su aglomeración hasta formar macropartículas de fácil sedimentación. En la actualidad, los coagulantes más usados son las sales minerales de hierro y aluminio; no obstante, estos compuestos químicos son arrastrados durante la sedimentación de los lodos, lo cual se convierte en un problema ambiental, ya que en altas dosis pueden llegar a ser tóxicos. Además, al ser productos especializados y de alta demanda comercial poseen un precio considerable. Recientemente se han reportado diversos estudios centrados en encontrar coagulantes alternativos con potencial semejante al de esta

sustancia, que sean más amigables al ambiente y de fácil aplicación. El nopal (*Opuntia ficus indica*), cactácea cultivada ampliamente en América y Sudáfrica, cuyas hojas o cladodios son empleados en la cocina mexicana tradicional tiene un gran potencial para ser aplicado en el tratamiento de las aguas residuales [4].

## OBJETIVO

Evaluar el efecto de polvo de nopal (*Opuntia ficus indica*) como coagulante en el nejayote sin tratar, centrifugado y filtrado.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se recolectaron muestras de 20 L de nejayote de un molino comercial en el estado de México y se almacenó a 20°C hasta su utilización. El secado de nopal se realizó empleando la metodología de [5], en la cual se obtendrán nopales frescos de la variedad *Opuntia ficus-indica*. 2 kg de nopales se cortaron en cuadros de 2 x 2 cm aproximadamente y se colocarán en charolas para colocarlos en un horno de aire forzado. Posteriormente los cladodios secos se sometieron a una molienda en un molino Pulvex de cuchillas y tamizado en una malla de 8 mm. El producto se guardó en bolsa de polietileno con sellado hermético. La muestra de nejayote clarificado fue obtenida por medio de centrifugación en una centrífuga de discos que opera a 4500 rpm con una apertura del tornillo del 50%. También se obtuvo nejayote filtrado en un filtro prensa con 8 marcos. La prueba de jarras se realizó al nejayote sin tratar, el centrifugado y filtrado. Se adicionaron a los líquidos 3 concentraciones de nopal (20, 50 y 80 mg/L). La prueba de jarras se realizó con 500 mL de muestra. Durante la prueba primero se agitó a 100 rpm durante 1 minuto para homogenizar y posteriormente se agregó el floculante de nuevo se agitó a 100 rpm (mezclado rápido) durante 1 minuto, posteriormente se agito a 40 rpm (mezclado para la coagulación) y manteniéndola durante 15 minutos y por último se agitó a 10 rpm (mezclado para la floculación) y manteniéndola durante 15 minutos. Se realizaron pruebas fisicoquímicas medición de pH [6], conductividad [7], sólidos sedimentables [8], sólidos totales [9], dureza [10], demanda química de oxígeno (DQO) [11], turbidez [12] y microbiológicas realizadas por el método de diluciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre pH y la adición del polvo de nopal, sin embargo, hubo una disminución de pH cuando se filtró el nejayote.

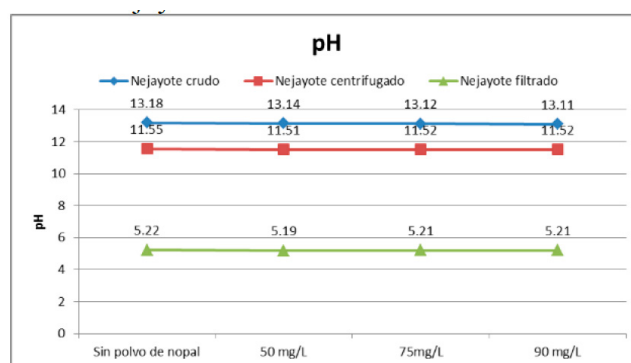


Figura 1. pH de nejayote sin tratar, centrifugado y filtrado.

El nejayote sin tratar obtuvo una conductividad de 5010  $\mu\text{S}$ , resultados similares a los obtenidos por [13] (4510.1210  $\mu\text{S}$ ). La conductividad es debido a que la corriente eléctrica la cual se transporta por medio de iones en solución, por lo tanto, la conductividad aumenta cuando aumenta la concentración de iones. En la Figura 2 se observa que al agregar el polvo de nopal las cargas de partículas coloidales se neutralizan y al aglomerarse y sedimentarse la cantidad de iones presentes en el nejayote, disminuye, por lo tanto la conductividad disminuye al agregar el polvo de nopal, el tratamiento está cumpliendo su función, que es limpiar el agua como tratamiento previo ya que el agua pura no es un buen conductor de la electricidad, se observa que se está llevando una remoción de hasta 11% en el nejayote crudo.

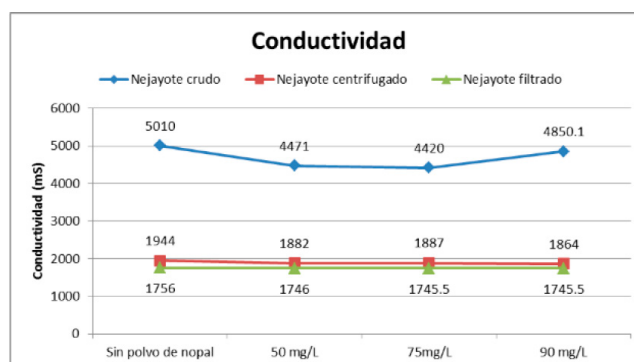


Figura 2. Conductividad de nejayote sin tratar, centrifugado y filtrado

En la Figura 3 se observa que al agregar el polvo de nopal reduce la cantidad de sólidos totales. Al agregar el polvo de nopal se reducen los sólidos ya que esta es la función del coagulante, en el que se observa una mayor remoción de sólidos al agregar 75 mg/L de polvo de nopal en el nejayote crudo al obtener una remoción del 17.5%. El análisis estadístico mostró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los efectos principales y la interacción de concentración de nejayote y tipo de nejayote.

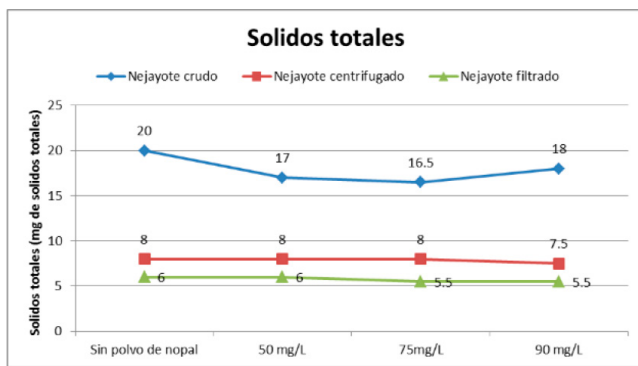


Figura 3. Sólidos totales de nejayote sin tratar, centrifugado y filtrado

El polvo de nopal (*Opuntia ficus-indica*) funciona como coagulante para el nejayote permitiendo la aglomeración de los sólidos coloidales suspendidos en este, en la figura 4 se observa que al agregar 90mg/L de polvo de nopal se obtiene una sedimentación óptima para las tres muestras de nejayote, en donde se obtiene un aumento de sólidos suspendidos de hasta 300% en la muestra de nejayote crudo. Al centrifugar o filtrar el nejayote se reduce la cantidad de sólidos totales, los cuales son la suma de los sólidos en suspensión, sólidos disueltos y sólidos coloidales en agua, al agregar el polvo de nopal en el nejayote centrifugado y filtrado los sólidos presentes se aglomeran y sedimentan, pero al haber sido eliminados en un 60 a 70% durante los tratamientos físicos, no obtiene un alto porcentaje de remoción en comparación con el nejayote sin tratamiento previo. Estadísticamente hay diferencia ( $p < 0.05$ ) a las diferentes concentraciones de nopal para el nejayote crudo. Por el contrario, en el nejayote centrifugado y filtrado no hay diferencia significativa.

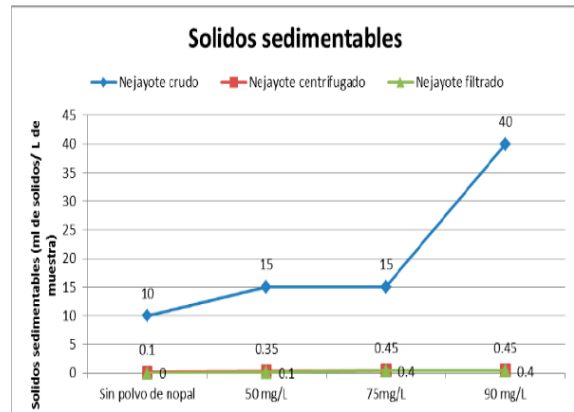


Figura 4. Sólidos sedimentables de nejayote sin tratar, centrifugado y filtrado

La dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes en el agua [14]. En la figura 5 se puede observar que la cantidad de iones de calcio en el nejayote sin tratamiento previo es de 6898 mg de  $CaCO_3/L$ , se observa una reducción de hasta el 27% en el nejayote sin tratamiento previo al agregar el polvo de nopal, en el nejayote tratado no se observa una reducción muy alta ya que va desde el 2% hasta el 20%. Los resultados mostraron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) para los diferentes tratamientos a las diferentes concentraciones de nopal y nejayote crudo, centrifugado y filtrado. El nejayote filtrado con 50mg/L de nopal presentó el valor más bajo de dureza.

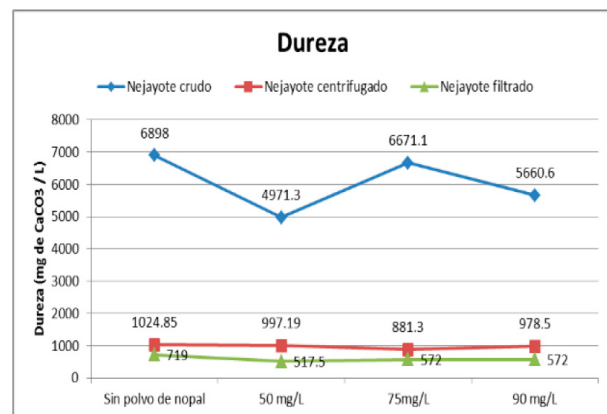


Figura 5. Dureza de nejayote sin tratar, centrifugado y filtrado

La demanda química de oxígeno determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua residual. En la Figura 6 se observa que al agregar 50 mg/L en el nejayote crudo la DQO se reduce casi hasta alcanzar los parámetros obtenidos al centrifugar el nejayote, al centrifugar o filtrar el nejayote no se observa una remoción alta ya que va desde 1 al 5%. El estadístico mostró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los efectos principales y la interacción de concentración de nejayote y tipo de nejayote, pero en el nejayote filtrado no hubo diferencia significativa entre las diferentes concentraciones de nopal.

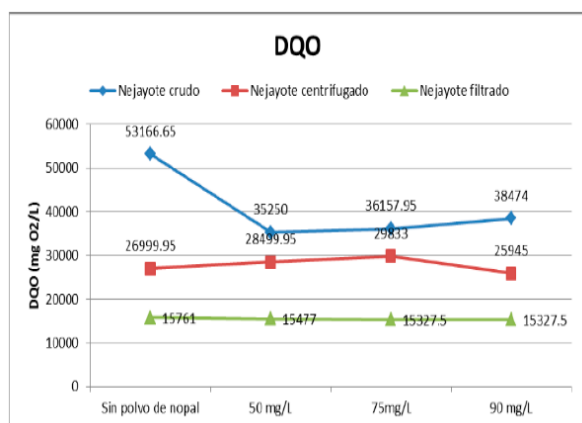


Figura 6. DQO de nejayote sin tratar, centrifugado y filtrado

La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Por otro lado, aunque su concentración es muy estable, no presentan la tendencia de aproximarse unas a otras. Al agregar el polvo de nopal estas partículas desestabilizan las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables; en la Figura 7 se observa que se elimina la turbiedad del agua un 55% al agregar 50 mg/L en el nejayote sin tratar previamente, en el nejayote centrifugado o filtrado no se ve una remoción alta ya que va del 1 al 30%. El análisis estadístico mostró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos al modificar la concentración de nejayote y tipo de nejayote.

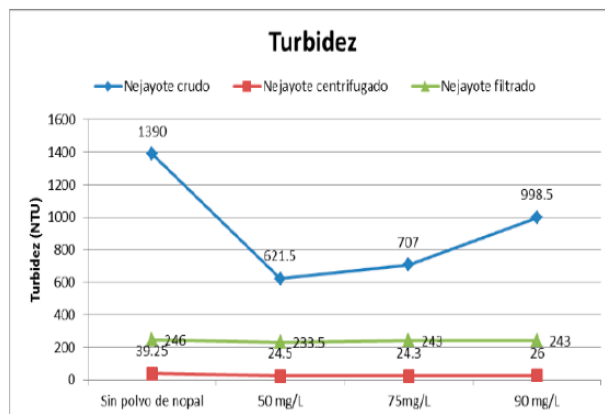


Figura 7. Turbidez de nejayote sin tratar, centrifugado y filtrado

En la Tabla 1 se observan los resultados de las unidades formadoras de colonias (UFC) de nejayote sin tratar, centrifugado y filtrar. Los hongos encontrados en el nejayote centrifugado fueron hongos mesófilos cosmopolitas correspondiendo a los géneros *Cladosporium* y *Paecilomyces*. Los conidios de *Cladosporium* se encuentran en forma de bioaerosol en el aire, principalmente a finales de verano y principios de otoño, sobre todo en zonas templadas, siendo un contaminante habitual en los edificios o en los lugares de trabajo [15], y *Paecilomyces* es encontrado como habitante del suelo, este hongo tiene la habilidad de sobrevivir en materia orgánica en el suelo y siempre se encuentra presente en el campo principalmente en zonas húmedas y donde hay bastante plaga [16]. Ambos hongos pudieron encontrarse en el medio ambiente, siendo contaminación indirecta y no por alguno de los tratamientos.

Tabla 1. Unidades formadoras de colonias de microorganismos de nejayote sin tratar, centrifugado y filtrado en la dilución 10<sup>-2</sup>.

	Sin tratamiento		Centrifugado		Filtrado	
	B (UFC)	H (UFC)	B (UFC)	H (UFC)	B (UFC)	H (UFC)
<b>Sin polvo de nopal</b>	0	100	Incontables	100	14100	0
<b>50 mg/L</b>	0	0	Incontables	0	15100	0
<b>75 mg/L</b>	0	100	Incontables	100	9500	0
<b>90 mg/L</b>	0	0	Incontables	0	4700	0

B= Bacterias H= Hongos

## CONCLUSIONES

- Al realizar el tratamiento físico (centrifugación o filtración) se obtiene una remoción alta de todos los parámetros medidos en comparación al nejayote sin tratar.
- La concentración óptima para remoción de contaminantes es 50mg/L de polvo de nopal al nejayote sin tratamiento previo, ya que al agregar esta cantidad se obtiene un mayor porcentaje de remoción de los parámetros estudiados.
- El polvo de nopal no presenta eficiencia en el nejayote con tratamiento previo (centrifugación y filtración).
- El nejayote sin tratamiento no contiene bacterias a diferencia del previamente centrifugado o filtrado, ya que al realizarse estos tratamientos podría contaminarse la muestra en cualquier lugar.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los proyectos PAPIIME PE108316 y PE204217 por el apoyo para la realización de la investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Castro-Muñoz, R., Orozco-Álvarez, C., Cerón-Montes, G. I., Yáñez-Fernández, J. (2015). Ingeniería agrícola y biosistemas, 23-34.
- [2] NOM-147-SSA1-1996. Bienes y Servicios, cereales y sus productos.
- [3] Ramírez, A., Jiménez, J. (2011). Oaxaca: Valles centrales de Oaxaca.
- [4] Villabona-Ortiz, Á., Paz-Astudillo, I. C., Martínez-García, J. (2013). Revista Colombiana de Biotecnología, 137-144.
- [5] Contreras-Padilla, M., Gutiérrez-Cortez, E., Valderrama-Bravo, M. C., Rojas-Molina, I., Espinosa-Arbeláez, D. G., Suárez-Vargas, R., Rodríguez-García, M. E. (2012). Effects of drying process on the physicochemical properties of nopal cladodes at different maturity stages. *Plant Foods Human Nutrition* 67 (1), 44-49.
- [6] AOAC. (1998). Official Methods of Analysis. Maryland USA: Association of Official Analytical Chemists.
- [7] ASTM. (1994). Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water. . USA, Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- [8] NMX-AA-004-SCFI-2000. Análisis de agua. Determinación de sólidos Sedimentables en aguas naturales, residuales y Residuales tratadas - Método de prueba.
- [9] NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.
- [10] NMX-AA-072-SCFI-2001 análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba
- [11] NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua.- Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de Prueba.
- [12] NMX-AA-038-SCFI-2001 Análisis de agua - determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba
- [13] Valderrama-Bravo, C. Gutiérrez-Cortez, E., Contreras-Padilla, M., Rojas-Molina, I., Mosquera, J.C., Rojas-Molina, A., Rodríguez-García, M.E. (2012). Physic-mechanic treatment of nixtamalization byproduct (nejayote). *Journal of Food*, 11(S1), 75-83. doi: 10.1080/19476337.2013.781680.
- [14] Rodríguez, S. A. (2010). La dureza del agua. Bahía Blanca: edUTecNe.
- [15] Databio. (28 de 07 de 2017). Cladosporium ssp. Obtenido <http://www.insht.es/RiesgosBiologicos/Contenidos/Fichas%20de%20agentes%20biologicos/Fichas/Hongos/Cladosporium%20spp.pdf>
- [16] Monzón, I. A. (2009). Nicaragua: UNA.

## OBTENCIÓN DE POLVO DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa*)

Quezada Arrieta Ana Laura<sup>1</sup>, Cruz Pedraza Elizabeth<sup>1</sup>, Figueroa Villarreal Leticia<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de estudios Superiores Cuautitlán

quezadalaura10@gmail.com, elcrpz@hotmail.com

\*lefivi@hotmail.com

### RESUMEN

Se han propuesto alternativas para el desarrollo de alimentos funcionales con alto contenido de fibra como los cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), ya que poseen actividad antioxidante disminuyendo los niveles de colesterol y triglicéridos, son fuente importante de vitaminas (E y C), ácidos polifenólicos, flavonoides y antocianinas ayudando al proceso digestivo y auxiliar para bajar de peso.

Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue la obtención de polvo de jamaica para su aplicación en el desarrollo de productos alimenticios funcionales, por lo cual se secaron los cálices de la jamaica a 65 °C-68°C por 5 h. 30 min. en un horno de convección, humedad final de 12%, se molieron y tamizaron (partículas finas y gruesas). Se analizó el polvo de jamaica y se obtuvo que entre su composición química contiene 9.61% de fibra. Se obtuvo un  $\Delta E=20.536$  al analizar el color los cálices y polvo de jamaica.

**PALABRAS CLAVE:** jamaica, antioxidante, alimento funcional, antocianinas, secado.

### ANTECEDENTES

Hoy en día una de los principales problemas de salud que presenta México son las enfermedades crónicas no transferibles (ECNT), reduciendo así la calidad y esperanza de vida de los mexicanos. Ejemplos de estas enfermedades son la diabetes y enfermedades cardiovasculares. Datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en "Health at a Glance 2017", revelan que México ocupa el segundo lugar en obesidad en el mundo atribuyendo de esta manera al padecimiento de diabetes en la población [1].

Enfermedades como el sobrepeso y la obesidad están reconocidas como uno de los retos más importantes de salud pública en el mundo, buscando alternativas como son la ingesta de alimentos bajos en calorías y grasa, consumo de alimentos funcionales, incremento de programas para fomentar la actividad física, evitando el sedentarismo de la población y de esta manera aumentar la esperanza de vida de los habitantes.

Un alimento funcional se define como aquel que

aporta un beneficio a la salud más allá de proveer nutrientes necesarios para la función del organismo, sino que tiene algún compuesto que tiene un efecto específico en la salud, y ese compuesto se denomina bioactivo o compuesto funcional [2], también reduce el riesgo de enfermedad [3]. Por lo anterior, la industria de alimentos se ha enfocado en el diseño de nuevos productos.

Por otra parte, la jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y sus derivados se han propuesto como ingredientes en la industria alimentaria para el desarrollo e innovación de alimentos funcionales (bebidas refrescantes, galletas, gelatinas, mermeladas, ates, jaleas, yogurth, cremas, etc.). Derivado a esto se han realizado investigaciones donde se demuestra que entre sus componentes se encuentran glucósidos, proteínas, calcio, tiamina, carbohidratos, grasas, hierro, fósforo, ácido ascórbico, ce-niza, caroteno, niacina hasta fibra. En la actualidad se conoce que la fibra es uno de los principales componentes de los alimentos, que ayuda a tener una buena digestión y a prevenir o disminuir diversos desórdenes metabólicos y gastrointestinales [4]. Añadir fibra solu-



ble a un alimento ayuda a compensar la deficiencia de ésta en la dieta del ser humano, además de ser un alimento no calórico.

También entre los componentes de la jamaica y extractos de ésta se encuentran vitaminas (E y C), ácidos polifenólicos, flavonoides y antocianinas [5], además de que poseen actividad antioxidante disminuyendo así los niveles de sustancias grasa en la sangre como el colesterol y los triglicéridos, algunas de sus propiedades es que ayuda al proceso digestivo y de utilidad para bajar de peso [6].

Otro de los componentes importantes de la jamaica son los sustanciales pigmentos de la planta, las antocianinas, las cuales son las responsables de las coloraciones rojizas de los cálices. Las antocianinas son altamente reductoras, por lo que exhiben fuerte actividad antioxidante, su consumo puede proteger al organismo contra daños provocados por los radicales libres y la peroxidación de los lípidos [7]. Otros estudios han reportado que su ingesta inhibe el desarrollo de algunos tipos de cáncer, enfermedades coronarias, arteriosclerosis y disminución de triglicéridos en pacientes con síndrome metabólico. Por ello, surge la importancia de conservar la estructura de las antocianinas a lo largo de los procesos de fabricación de productos alimenticios que requieren de tratamientos térmicos.

La temperatura es uno de los factores críticos que influyen en la degradación de antocianinas. Tradicionalmente los cálices de jamaica se deshidratan mediante exposición directa al sol, sin control del proceso, con largos periodos de tiempo (entre 24 y 48 h) y pérdidas significativas de calidad [8]. Las conversiones estructurales de las antocianinas son reacciones endotérmicas. Resisten bien procesos térmicos a altas temperaturas durante cortos periodos de tiempo.

Por efecto del calor (a temperaturas por encima de los 60°C) se degradan según una cinética de primer orden, por lo cual entre las temperaturas de 65 °C y 68°C [8] se logra obtener una mayor estabilidad de las antocianinas.

Por otra parte, el color corresponde a una percepción e interpretación subjetiva, por lo cual cuando se clasifican los colores, se los puede expresar en términos de matiz (color), luminosidad (brillo) y saturación (vividez). Al crear escalas para éstos atributos, se puede expresar en forma precisa el color. Los instrumentos de medición de color, incluyendo espectrofotómetros y colorímetros, pueden cuantificar éstos atributos de color fácilmente,

ya que éstos determinan el color de un objeto dentro del espacio de color y muestran los valores para cada coordenada  $L^*$ ,  $a^*$ , y  $b^*$ . La diferencia de color es definida como la comparación numérica de una muestra con el estándar. Indica las diferencias en coordenadas absolutas de color y se la conoce como Delta ( $\Delta$ ).

## OBJETIVO

El objetivo de la investigación fue obtener polvo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) que conserve su color agradable mediante un proceso controlado de secado, seguido de una molienda y tamizado de los cálices para posterior aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales.

## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para la obtención del polvo de jamaica se empleó un lote de 1 kg de cálices de jamaica de la especie del Sudán, contenidas en bolsas herméticas, marca Member's Mark. Se realizó una selección y limpieza de la jamaica, empleando desinfectante para alimentos marca Member's Mark, 10 gotas por cada litro durante 15 minutos quitando toda aquella materia extraña que se encontraba en el lote. Los cálices fueron dispuestos de manera homogénea en charolas horadadas de aluminio de 5 cm de alto, las cuales se colocaron en un horno de convección marca Emko, modelo HDF-48 a una temperatura de 65-68°C por 5 h. 30 min. Se verificó la pérdida de humedad, pesando una muestra de peso conocido contenida en una caja Petri cada 25 minutos.

Una vez alcanzada una humedad del 12%, se procedió a moler los cálices secos de jamaica, empleando un molino Hamilton Beach Mod. 80392, a una velocidad alta con tamaño de partícula media, después el polvo obtenido se sometió a un tamizado con una serie de mallas de 20-60, se realizó un análisis granulométrico al polvo obtenido pesando el polvo retenido en cada malla.

Se realizó un AQP empleando las técnicas oficiales para poder conocer la composición química del polvo de jamaica, se emplearon los procedimientos establecidos de las normas correspondientes como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Técnicas oficiales para el AQP del polvo de jamaica.

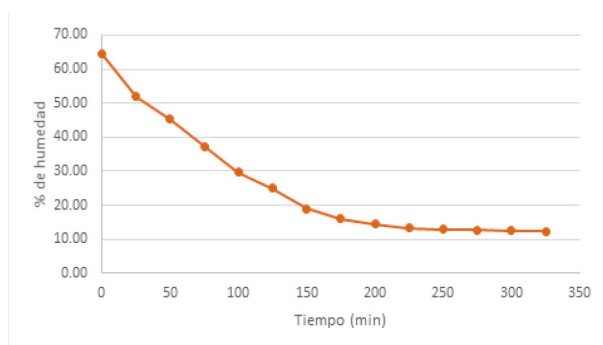
Composición	Técnica
Fibra cruda	NMX-F-90-S-1978
Carbohidratos	Diferencia
Proteína	AOAC 12.1.07
Cenizas	NMX-F-066-S-1978
Grasa	NMX-F-089-S-1978
Humedad	NMX-F-083-1986

También se evaluó la intensidad del color mediante el programa "ImageJ" para analizar el cambio de color de los cálices y del polvo de jamaica, al ser sometido al secado, utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \dots (1)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se puede apreciar en la Figura 1 el contenido inicial de humedad de los cálices de jamaica fue de 64%, que a un tiempo de 5.30 horas, alcanzó una humedad final de 12%, cuyo valor se encuentra en el rango del 15% de humedad para productos similares como polvos [9], por lo tanto cumple con las especificaciones físicas aptas para polvo.

**Figura 1.** Curva de secado de los cálices de jamaica.

Una vez realizada la molienda se sometió a un tamizado para determinar el tamaño de partícula que se obtenía. Para el análisis granulométrico se utilizó una serie de tamices con número de malla de 20, 40, 60 y 75 g de muestra de la molienda de la jamaica, obteniendo los siguientes resultados de la Tabla 2. El mayor porcentaje de polvo de jamaica fue el que pasó de la malla 60, con un diámetro de abertura de 250 mm con 12.88 g, y 25.42 g de polvo de jamaica en la base, por lo que se dice que presenta productos más heterogéneos.

**Tabla 2.** Análisis granulométrico de la molienda del cáliz de jamaica.

No. De Malla	Masa Ret (g)	Abertura pasa (in)	Abertura ret (in)	Xi	Dpi (in)	FTR	FTP
20/40	9.39	0.0331	0.0165	0.125	0.025	0.125	0.8750
40/60	27.21	0.0165	0.0098	0.363	0.013	0.488	0.5117
60/base	12.88	0.0098	0.007	0.172	0.008	0.660	0.3398
base	25.42	0.007	0	0.339	0.004	1.000	0.0004
	74.90			1.000			

Por otra parte, se puede apreciar el análisis químico proximal del polvo de jamaica en la Tabla 3, observando que de los componentes nutricionales de mayor importancia es el contenido de fibra del 9.617% y la proteína con un valor del 8.412%, cuyos porcentajes son similares al bibliográfico, lo que comprueba que se puede utilizar para el desarrollo de productos alimenticios funcionales con alto contenido de fibra y con un color agradable.

**Tabla 3.** Composición química del polvo de jamaica.

Componente	Porcentaje* (%)	Bibliográfico <sup>[5]</sup>
Humedad	12	----
Carbohidratos totales	71.991	71.9
Fibra cruda	9.617	9.8
Cenizas	6.89	6.8
Proteína	8.412	8.6
Grasa	3.09	2.9

\*Base seca

Por último, se realizó la diferencia total de color en el programa "ImageJ", observando los valores  $L^*a^*b$  obtenidos en la Tabla 4, se determina que los cálices y el polvo de jamaica no igualan en color, ya que respecto a L (asociado con la luz que refleja la muestra) el cáliz es más oscuro en comparación con el polvo de jamaica, esto es debido a que durante la molienda de la muestra se incorpora aire que eleva los valores de L, y se obtienen datos de color que ya no corresponden con el de las muestras de interés [10]. Mientras que para a, el polvo de jamaica es más rojizo que los cálices, y para b, existen más coloraciones azules en los cálices que en el polvo de jamaica. Empleando la Ecuación (1), se obtuvo un  $\Delta E$  de 20.536, presentando diferencia en la escala del color rojo, respecto a los colores primarios verde, rojo y azul. En la Figura 2 se observa que el color pasó de un violeta oscuro en el cáliz de jamaica a un tono violeta-rojizo del polvo de jamaica, después del secado, por lo cual se dice que presenta una mayor uniformidad del color y que éste es más agradable a la vista. Lo anterior permite establecer que no se dañó la estructura química de las antocianinas, las cuales son los componentes responsables de las coloraciones rojizas [7].

## CONCLUSIONES

Se mostró que el secado de cálices de jamaica mediante condiciones controladas de temperatura y tiempo, así como el tamizado, permitieron obtener polvo de jamaica con especificación apta respecto a la normatividad.

El color de los cálices de jamaica fue diferente que del polvo de jamaica después del secado.

Por otro lado, los cálices de jamaica poseen propiedades funcionales debido a su gran aporte de compuestos nutricionales, entre ellos la fibra, el cual es empleado en el desarrollo de alimentos funcionales.

Derivado de esta experimentación, se comprueba que el uso de los cálices de jamaica en el desarrollo e innovación de productos alimenticios es una buena alternativa, ya que poseen gran cantidad de antocianinas, ayudando como antioxidante en las personas y en el desarrollo de alimentos.

**Tabla 4.** Diferencia total del color de los cálices y del polvo de jamaica.

	L	a	b	$\Delta E$
Caliz de jamaica	14.25	2.989	-1.081	20.536
Polvo de jamaica	18.867	22.252	4.34	
$\Delta$	4.617	19.263	5.421	



**Figura 2.** Cálices y polvo de jamaica.

## AGRADECIMIENTOS

Cruz, P.E. y Quezada, A.A., agradecen al programa PAPIME (Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza) y al Taller de Desarrollo de Productos Alimenticios del Laboratorio de Ciencia y Tecnología de Alimentos por el apoyo en la presente investigación.

## REFERENCIAS

[1] OECD (2017). Health at a Glance. OECD Indicators. ¿Cómo se compara México? Recuperado 24 de febrero de 2018 de: <https://www.oecd.org/mexico/Health-at-a-Glance-2017-Key-Findings-MEXICO-in-Spanish.pdf>.

[3] Sarmiento, R.L.A. (2006). Alimentos funcionales, una nueva alternativa de alimentación. *Revista Orinoquia*, 10, 13-23.

[4] González, S.H., Reyes, G.J., Val, D.R., Hernández, E.A., González, P.S. (2011). Galleta de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* Linn). *Revista Universo de la tecnología*, 8, 20-22.

[5] Cid-Ortega, S. y Guerrero-Beltrán, J.A. (2012). Propiedades funcionales de la Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 6(2), 47-63.

[6] Cevallos, M.M.G. (2015). Procesamiento de la flor de Jamaica (*Hibiscus Sabdariffa*) desecado para la preparación de yogurt y bebida con altas propiedades nutraceuticas. Tesis de Licenciatura, Universidad de Guayaquil, Ecuador.

[7] López, A.D., Montalvo, G.E., González, I.A., Gómez, L.J. (2011). Inducción de antocianinas y compuestos fenólicos en cultivos celulares de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) in vitro. *Revista Chapingo serie Horticultura*, 17(2), 77-87.

[8] Jiménez, M.F., Cárdenas, J.D., Aponte, A.A., Restrepo, J. (2014). Alternativa de secado de flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) mediante ventana de refractancia y aire caliente. *Revista de la Facultad Nacional Agroalimentaria*, 67(2), 40-45.

[9] NOM-147-SSA1-1996, Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Recuperada el 24 de febrero de 2018 de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/147ssa16.html>

[10] Salinas, M.Y., Zúñiga, H.A., Jiménez, T.B., Serrano, A.V., Sánchez, F.C. (2012). Color en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y su relación con características fisicoquímicas de sus extractos acuosos. *Revista Chapingo*, 18(3), 395-407.

## ANÁLISIS NUTRIMENTAL DEL ACEITE PROVENIENTE DE SEMILLAS DE LA FAMILIA TAXONÓMICA ROSACEAS, ESPECIES COMERCIALES Y ENDÉMICAS

Janeth Montiel Reyes<sup>1</sup>, Sergio Alejandro Ayala Ramírez<sup>1</sup>, Ma. De Rocío Lara Madrigal<sup>1</sup>, Cesar Rogelio Solorio Alvarado<sup>2</sup>, Rafael Ortiz Alvarado\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cuerpo Académico de Fisiopatologías-211 de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

<sup>2</sup>Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato.

rortizalvarado@gmail.com, terezo12@yahoo.com.mx

### RESUMEN

La humanidad se encuentra con la necesidad de generar fuentes de alimentos, que cumplan con los requisitos de diversidad, inocuidad y sustentabilidad. México se ha colocado como líder en la producción de alimentos que cumplen las dos primeras asignaturas. Sin embargo, el reciente éxito de los frutillos rojos como la zarzamora y la frambuesa (*Rubus spp.*) han dejado de lado la explotación de especies endémicas de México, como *Prunus serótina var. capulí* (Capulín). Todas estas especies generan una semilla, la cual no se aprovecha cabalmente generando residuos. Así el presente trabajo, describe el perfil químico y la calidad nutrimental del aceite contenida en las semillas de estas especies de la Familia Rosacea. Estos ácidos grasos poseen una baja concentración de formas *trans*, en favor de los isómeros *cis* en los ácidos grasos poliinsaturados de tipo C:18. Por lo tanto esta investigación favorece el desarrollo de nuevas fuentes de alimentos.

**PALABRAS CLAVE:** *Rubus spp.*, *Prunus serótina var. capulí*, ácidos grasos poliinsaturados, Familia Rosaceae.

### ANTECEDENTES

La zarzamora y la frambuesa (*Rubus fruticosus* y *Rubus idaeus*, respectivamente) son frutos producidos en México y exportados a nivel mundial, debido a su contenido de nutrientes con capacidad antioxidante, donde encontramos poli fenoles, flavonoides y ácido ascórbico [2]. Este contenido de nutrientes es uno de los criterios primordiales para su comercialización a nivel mundial donde destaca también el sabor *suis generis* del fruto el cual es industrializado en fresco. México se ubica como uno de los países principales en la producción de los frutos del genero *Rubus spp.*, y el estado de Michoacán es líder en la producción de este fruto, el cual se comercializa primordialmente en fresco en mercados internacionales. Por lo que el fruto debe cumplir con estándares de aspecto, color y sabor en general, lo cual descarta una cantidad significativa de frutos que no logran posicionarse en la industria en fresco. Esto origina a) pérdidas para la industria productora local del estado de Michoacán, b) desperdicio de alimentos y c) contaminación por residuos sólidos

de frutos no comercializados [4]. Ante estos problemas se ha explorado la obtención de ácidos grasos con valor comercial a partir de las semillas del fruto de la zarzamora [3]. La obtención y extracción de ácidos grasos, provenientes de frutos como el aguacate genera una industria ligera de extracción, como sub-producto, de la producción de alimentos en forma masiva [7]. Éxitos comerciales en el sentido de la producción, comercialización de frutos y generación de industrias ligeras de tipo extractivas de ácidos grasos son: a) producto aguacate (*Persea americana var Hass*), del cual se produce y comercializa el fruto en fresco y derivados comerciales como liofilizados y aceite de aguacate, b) producto aceituna (*Olea europea*), del cual también se produce fruto para su comercialización en diferentes productos donde destaca la obtención de aceite generalmente para uso comestible [10]. Cabe mencionar que el desarrollo de economías emergentes a nivel mundial somete a la industria agroalimentaria a una presión de generar productos con estándares de

calidad alimenticia y aspectos comerciales, lo cual deja de lado productos alimenticios con valor nutricional alto, que no cumple los parámetros de comerciales visuales, propiciando el desperdicio de alimentos [9]. Adicionalmente es necesario poder diversificar el acceso a fuentes alimenticias donde los ácidos grasos de tipo insaturado se encuentran en los aceites extraídos de los frutos aceituna, aguacate y zarzamora [3, 8,10]. La obtención de ácidos grasos de tipo insaturado de los frutos anteriormente citados a nivel industrial se realiza a través de métodos extractivos donde se utilizan solventes no polares [7,8], lo que genera que el aceite no tenga la calidad nutricional requerida y no sea catalogado como aceite virgen, el cual se obtiene a partir del uso de métodos físicos, como pueden ser prensado, centrifugación, choque térmico y más recientemente se propone la utilización de microondas y el uso de fluidos en estado supercrítico [1], donde las tecnologías prescindieren del uso de solventes no polares. En el presente trabajo de investigación se describe el método para la obtención de ácidos grasos de cadena insaturada, a través de un método físico (uso de microondas), partiendo de semilla de zarzamora como producto de deshecho sólido de la agroindustria en Michoacán, y permitiendo también la explotación de frutos endémicos como lo son el denominado capulín que pertenece también a la familia *Rosaceae* y que no es explotado comercialmente, salvo en consumo local, este fruto tiene el nombre científico *Prunus serótina* var. *capuli* y presenta también la presencia de aceite, lo cual posibilita su estudio y poder incluirlo dentro de la lista de productos que deben ser estudiados y preservados por sus aportes nutricionales diversos a la dieta humana.

## OBJETIVO

Determinar el perfil lipídico y espectrofotométrico del aceite proveniente de la semilla de especies comerciales y endémicas de las *Rosaceae*.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se colectaron muestras de capulín (*Prunus serótina* var. *capuli*) provenientes de las zonas productoras que pertenecen a los municipios de Michoacán, Guanajuato y Estado de México. Se transportarán, los frutos en cajas con aislamiento térmico, a la ciudad

Morelia, y se almacenarán a una temperatura promedio de 8°C, toda la noche. Al día siguiente se procesarán, los frutos en centrifuga de canasta, por un espacio de 10 minutos a 2000 g, a temperatura ambiente. Se recuperará el sobrenadante y se guardó a -80°C.

En el caso de las zarzadoras se obtuvieron 3 kilogramos de zarzadoras de la variedad *Tuppi* provenientes de la tenencia de Patúan del Municipio de Ziracuaretiro, Michoacán, de campos de cultivo de la Sociedad Productora Zarzamich. Se transportaron los frutos en cajas con aislamiento térmico, a la Ciudad de Morelia, y se almacenaron a una temperatura promedio de 8°C, toda la noche. Al día siguiente se procesaron los frutos en centrifuga de canasta, por un espacio de 10 minutos a 2000 g, a temperatura ambiente. Se recuperó el sobrenadante y se guardó a -80°C. En todos los casos las semillas se separaron y se trataron de la siguiente manera.

## Sólidos

El residuo sólido se recupera y se someterá por un espacio de 18 horas a un tratamiento térmico, por luz directa, de una lámpara incandescente de 150 watts de potencia, sobre una superficie de convección, acero grado alimenticio de 3mm de espesor. Al término se obtuvo un residuo sólido el cual fue tamizado, liberando las semillas del fruto de zarzamora. Las semillas de zarzamora se sometieron a un molido en mortero, para la extracción por solventes en equipo Soxhlet.

## Extracción Soxhlet

Las semillas molidas, en peso seco, se sometieron a extracción por solventes no polares, en equipo Soxhlet, realizando tres extracciones con éter etílico (Meyer), y cinco extracciones con pentano, utilizando 3 gramos del material biológico en cada extracción.

## Extracción por microondas

Las semillas molidas, en peso seco, se sometieron a un tratamiento térmico por inducción, en horno de microondas bajo el siguiente protocolo: en cada extracción se utilizaron 3 gramos de material molido al cual se le agregó 20 mL de agua bidestilada, y se dejó en reposo por una noche a una temperatura de 8°C, a la mañana siguiente, el vaso de precipitados conteniendo el material molido con el agua se dejó en reposo por un hora a una temperatura ambiente y se llevó a

cabo el tratamiento en horno de microondas, con una potencia de 0.25-0.33 Kwatts/hrs. Por un espacio de 20 minutos, obteniendo una temperatura de la mezcla de  $88-90^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### Centrifugación

El residuo se colecto y se transfirió a tubos de polipropileno de 1.5 mL de capacidad (Eppendorf) y sometieron a centrifugación por espacio de 15 minutos a 6000g a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ . Se recuperó el sobrenadante y se transfirió a tubos limpios de polipropileno de 1.5 mL de capacidad. El sobrenadante de sometió a refrigeración durante 18 horas a una temperatura de  $4$  a  $8^{\circ}\text{C}$ , los tubos se sometieron a centrifugación a temperatura ambiente por un espacio de 10 minutos y 3000 g. El contenido oleoso se colecto por aspiración con punta con filtro y se guardó en viales de rosca de 2 mL.

### Análisis por Cromatografía de Gases y Resonancia Magnética Nuclear

Se realizó un análisis por cromatografía de gases obteniendo el perfil lípido de los ácidos grasos contenidos en el aceite de *R. fruticosus*, (Tabla 2), con el aceite de la semilla de *R. fruticosus*, hidrolizado. Adicionalmente se corrió un análisis para observar la abundancia de las especies de C:18 poliinsaturados y la forma en la que se encuentran el aceite de *R. fruticosus*, por resonancia magnética nuclear (ácidos libres o en esteres) (Figura 1).

### Análisis por barrido espectrofotométrico

Todos los extractos oleosos purificados se sometieron se sometieron al análisis por barrido espectrofotométrico con un espectrofotómetro marca Biorad Smart Spec 3000 plus, las señales de barrido se graficaron y se determinaron las longitudes de absorción, para las muestras de *R. fruticosus*, *R. idaeus* y *P. serótina* var. *capuli*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

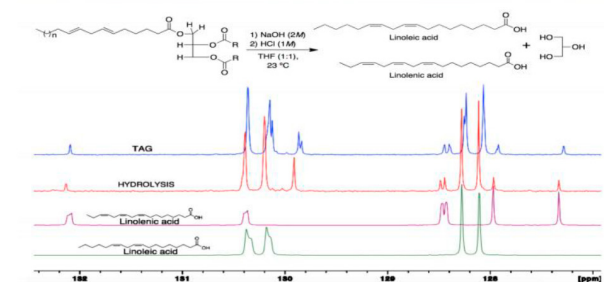
Los análisis por cromatografía de gases de los tres tipos de semillas arrojaron la siguiente composición y perfil lípido como se puede ver en la Tabla 1.

Ac. Graso	T.R.	Area %
Capríco C10 : 0	17.976	0.22349
Lauríco C12 : 0	19.866	0.75136
Mirístico C14 : 0	22.374	0.47311
<b>Palmitico C16 : 1</b>	<b>25.413</b>	<b>9.09236</b>
Palmitoleico C16 : 1	26.479	0.17941
Margarico C17 : 0	27.108	0.08369
Margaroleico C17 : 1	28.253	0.8168
<b>Estearico C18 : 0</b>	<b>29.061</b>	<b>3.89553</b>
Elaidico C18 : 1 N9 T	29.883	0.24442
<b>Oleico C18 : 1 C</b>	<b>30.349</b>	<b>27.03839</b>
C18 : 2 TC	31.772	0.05261
C18 : 2 CT	31.990	0.01511
<b>Linoleico C18 : 2 N6 C</b>	<b>32.385</b>	<b>48.32855</b>
Araquídico C20 : 0	33.673	1.0852
<b><math>\alpha</math>-Linolenico C18 : 3 N3</b>	<b>34.749</b>	<b>7.76131</b>
Gadoléico C20 : 1	35.123	0.42691
Eicosadienoico C20 : 2	37.960	0.14701
Behénico C22 : 0	39.050	0.13656

**Tabla 1.** Perfil de composición de ácidos grasos del aceite extraído de las semillas de la Familia Rosaceae.

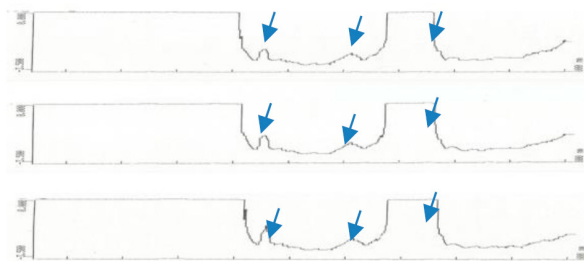
Donde destaca la presencia de ácido linoleico con un 48.32%, ácido oleico 27.03% y ácido  $\alpha$ -linolenico con un 7.76%, los cuales representan un mayor porcentaje y presencia de ácidos grasos poliinsaturados como se aprecia en la Tabla 1.

Esto fue corroborado por resonancia magnética nuclear como se verifica en la Figura 1.



**Figura 1.** Comparativa de Triacilglicerolos y estándar de los aceites de las especies comerciales y nativas de la Familia de las Rosáceas.

El barrido espectrofotométrico de las especies *Rubus fruticosus*, *Rubus idaeus*, *Prunus serótina* var. *capuli*, arrojó en los tres casos un patrón similar, de 320 a los 800 nanómetros (nm) de absorción con tres regiones características como se aprecia en la Figura 2, señalado con las flechas correspondientes.



**Figura 2.** Gráficas de Barridos espectrofotométricos, para los aceites provenientes de *Rubus fruticosus*, *Rubus idaeus*, *Prunus serótina* var. *capuli*, en orden descendente.

Se determinaron las tres regiones de absorciones específicas para cada una de las señales encontrando los siguientes datos que son expresados en la Tabla 2, para cada una de las tres especies de estudio.

Especie	Primer pico de absorción ( $\lambda$ ) nm	Segundo Pico de absorción ( $\lambda$ ) nm	Tercer pico de absorción ( $\lambda$ ) nm
<i>Rubus fruticosus</i>	520.70-536.36	590.39-615.15	621.21-691.41
<i>Rubus idaeus</i>	522.05-534.34	585.34-617.16	630.29-691.07
<i>Prunus serótina</i> Var <i>capuli</i>	521.71-535.34	590.90-617.67	628.27-690.90

**Tabla 2.** Comparativa de las longitudes de absorción de los diferentes aceites de la familia taxonómica Rosaceae.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se concluye que las semillas del fruto *Rubus fruticosus*, *Rubus idaeus*, *Prunus serótina* var. *capuli* son materia prima de importancia nutricional mayor para la obtención potencial de ácidos grasos poliinsaturados de tipo C:18 lo que podría dar una alternativa de comercialización a los productores de este sistema producto de la zarzamora y el uso de tecnologías alternativas extractivas como las microondas, permite poder acrecentar los métodos de extracción de ácidos grasos con valor comercial como los ácidos grasos poliinsaturados.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto soportado por la Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Convocatoria CIC 2018-2019, como apoyo a la investigación científica y al CAEC-211 DE FISIOPATOLOGÍAS-211

## REFERENCIAS

- [1] Akanda M.J., Sarker M.Z., Ferdosh S., Manap M.Y., Ab Rahman N.N., Ab Kadir M.O. (2012). Applications of supercritical fluid extraction (SFE) of palm oil and oil from natural sources. *Molecules*. 10;17 (2):1764-94.
- [2] Boeing J.S., Barizão E.O., Silva B.C., Montanher P.F., de Cinque Almeida V., [3] Visentainer J.V. (2014). Evaluation of solvent effect on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacities from the berries: application of principal component analysis. *Chem. Cent J*. 22;8:48.
- [3] Bushman B.S., Phillips B., Isbell T. (2004). Chemical composition of caneberry (*Rubus* spp.) seeds and oils and their antioxidant potential. *J Agric Food Chem*. 52(26), 7982-7.
- [4] do Nascimento Nunes MC, Nicometo M, Emond JP, Melis RB, Uysal I. (2014). Improvement in fresh fruit and vegetable logistics quality: berry logistics field studies. *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci*. 5; 372, 20130307.
- [5] Hassimotto N.M., Pinto Mda. S., Lajolo F.M. (2008). Antioxidant status in humans after consumption of blackberry (*Rubus fruticosus* L.) juices with and without defatted milk. *J Agric. Food Chem*. 56(24), 11727-33.
- [6] Matthäus B. (2002). Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oilseeds. *J. Agric. Food Chem*. 50(12), 3444-52.
- [7] Moreno A.O., Dorantes L., Galíndez J., Guzmán R.I. (2003). Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil. *J. Agric. Food Chem*. 51(8), 2216-21.
- [8] Reddy M., Moodley R., Jonnalagadda S.B. (2012). Fatty acid profile and elemental content of avocado (*Persea americana* Mill.) oil—effect of extraction methods. *J Environ. Sci. Health. B*. 47(6), 529-37.
- [9] Schott A.B., Vukicevic S., Bohn I., Andersson T. (2013). Potentials for food waste minimization and effects on potential biogas production through anaerobic digestion. *Waste Manag Res*. 31(8), 811-9.
- [10] Vitaglione P., Savarese M., Paduano A., Scalfi L., Fogliano V., Sacchi R. (2013). Healthy virgin olive oil: a matter of bitterness. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 54(8), 2216-21.
- [11] Zia-Ul-Haq M., Riaz M., De Feo V., Jaafar H.Z., Moga M. (2014). *Rubus fruticosus* L.: constituents, biological activities and health related uses. *Molecules*. 19(8), 10998-1



## APROVECHAMIENTO DE LAS SEMILLAS DE JÍCARO (*Crescentia alata*) PARA LA ELABORACIÓN DE UNA BEBIDA FUNCIONAL: EVALUACIÓN QUÍMICA Y SENSORIAL

Francisco Jesus Diaz Perez<sup>1</sup>, Roselis Carmona Garcia<sup>1</sup>, Leandro Antonio Rascon Sosa<sup>1</sup>,  
Monica Rivera Rivera<sup>1</sup>, Martha Patricia Valencia Perez\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Depto. de Ingeniería Química y Bioquímica,  
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtepec

[valpaty265@hotmail.com](mailto:valpaty265@hotmail.com)

### RESUMEN

El fruto de jícaro (*Crescentia alata*) en la actualidad es desaprovechada, solo en algunos estados de la republica se utilizan para ser productos ornamentales a partir de su cáscara , sin embargo existe información científica que destacan el valor nutritivo del jícaro, como es el caso de las semillas las cuales presentan un alto contenido de proteínas y lípidos. Por lo que en este trabajo se utilizaron las semillas de jícaro (*Crescentia alata*) para elaborar una bebida funcional aprovechando así su alto valor nutricional. Para dicho estudio se elaboró un concentrado a partir del cual se preparó la bebida y fue determinada su composición química proximal así como la aceptación de la bebida mediante una evaluación sensorial. Los resultados mostraron que la bebida presentó un contenido significativamente alto de proteínas y lípidos (9.99 y 17% respectivamente) así como un grado de aceptación alto (75%).

**PALABRAS CLAVE:** Aprovechamiento, Semillas de jícaro, bebida funcional, evaluación sensorial, composición química.

### ANTECEDENTES

El jícaro (*Crescentia alata*) el cual pertenece a la familia Bignoniaceae es un antiguo árbol del tropico americano, el fruto tiene forma de calabaza y fue ampliamente usado durante la era precolombina no solamente como alimento si no tambien como utensilios y contenedores. El fruto del jicaro presenta un pericarpio lignificado que contiene una pulpa dulce con muchas semillas alrededor, las cuales representan el 5% de la fruta completa son de color oscuro, planas y con forma de corazón con un agradable olor característico [1].

Estas semillas son ricas en proteínas (33.4g/100g) y lípidos (32.8g/100g), de los cuales los principales ácidos grasos presentes son el ácido oleico (61.8%) y ácido linoleico (15%) similar a la soya [2], minerales como el fósforo, potasio, magnesio, calcio, sodio y en concentraciones trazas hierro, zinc, cobre y manganeso [3] y presenta la ventaja de no contener factores anti-funcionales como son los inhibidores de tripsina y alfa galactosidos.

Las semillas también presentan una mayor concentración de aminoácidos esenciales como la leucina (2.58g/100g) que representa el 7.2% de los aminoácidos totales, este valor es similar al reportado en el cotiledón de soya (3.23g/100g), la semilla además contiene aminoácidos como la fenilalanina, histidina, treonina y metionina. Debido a estas propiedades en este estudio se propone la utilización de las semillas de jícaro (*Crescentia alata*) para la elaboración de una bebida con alto potencial funcional y nutricional aprovechando así el valor nutritivo de la semilla, impulsando con ello el cultivo de este árbol, el cual actualmente es desaprovechado. Esto con la finalidad de ofrecer una opción más de bebidas saborizadas las cuales surgieron como una necesidad de una población, que requiere del uso y su consumo como una alternativa a las bebidas gaseosas. Por lo que la bebida funcional a base de semillas de jícaro (*Crescentia alata*) es considerada como un vehículo apropiado para hacerles llegar una varie-

dad de nutrientes que aporten beneficios a la salud en la medida que se incluyan con frecuencia en la dieta diaria.

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar química y sensorialmente una bebida funcional elaborada a base de semillas de jícara (*Crescentia alata*).

## PARTE EXPERIMENTAL

### Materia prima.

Las semilla de jícara fueron recolectadas de diferentes frutos de árboles pertenecientes al Municipio de Tuxtepec, Oaxaca. Los frutos fueron transportados al laboratorio de alimentos del Instituto Tecnológico de Tuxtepec.

### Obtención de la harina de semilla jícara (*Crescentia alata*).

Las semillas del fruto de jícara se obtuvieron de manera tradicional. En este método los frutos maduros fueron quebrantados por la mitad, la pulpa fue depositada en cubetas de acero inoxidable para su separación dejándolas en remojo en agua, en la relación de sólido-liquido 1:4. Las semilla recolectadas, fueron colocadas en bandejas, donde se realizaron varios lavados para eliminar restos de pulpa. Posteriormente las semillas se secaron en un horno a una temperatura de 90 °C durante 9 horas, después se tostaron ligeramente sobre una superficie a una temperatura entre 90-110 °C por <5 minutos [3]. La harina se obtuvo por molienda de las semillas en un procesador de alimentos, la molienda se realizó gradualmente, tamizándose hasta obtener un porcentaje de extracción del 95%.

### Preparación de la bebida funcional.

Para la preparación de la bebida funcional se preparó primeramente un concentrado basado en la obtención de un producto listo para el consumo, con el solo añadirle agua. Para ello se formuló en general una mezcla a base de harina de semilla de jícara, agua, azúcar refinada como edulcorante, y como conservador se utilizó benzoato de sodio.

### Determinación de la composición químico proximal

El contenido de humedad, cenizas, lípidos, proteínas fueron determinados de acuerdo a los métodos 934.01 (método gravimétrico), 942.05 (incineración a 525 °C), 948.22 (aparato de Soxhlet usando éter

de petróleo), 960.52 (método Kjeldahl) [4]. La formulación fue analizada por triplicado. El contenido de carbohidratos fue determinado por diferencia. Los valores se expresaron en porcentaje (%).

### Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de la formulación del concentrado para preparar la bebida en estudio, se realizó con un panel no entrenado de 100 participantes (estudiantes y personal) del Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Oaxaca, de ambos sexos y con edades comprendidas entre los 18 y 55 años, a los cuales se les suministró la bebida ya preparada y con un formato de evaluación, para que evaluaran los atributos (color y sabor), haciendo uso de una escala hedónica de 8 puntos (me gusta muchísimo a me disgusta muchísimo), que permitió a los panelistas manifestar su grado de aceptación de la bebida.

### Análisis estadístico

Los resultados de la composición química proximal de la formulación se registraron como la media de tres repeticiones  $\pm$  desviación estándar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

- Composición químicoproximal.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos del análisis químico proximal de la bebida funcional. En donde obviamente el agua es el componente principal seguido de lípidos y proteínas el cual es considerado alto en comparación con las bebidas carbonatadas las cuales no presentan valor nutricional alguno para la sociedad.

En este mismo sentido la composición en lípidos y proteínas de esta bebida funcional es mayor en comparación con otras bebidas elaboradas a partir de diversas frutas.

Por lo que su inclusión en las comidas de las familias Mexicanas apoyara a una mejor nutrición.

Componente	Contenido (%)
Humedad	54.31 $\pm$ 0.58
Cenizas	2.45 $\pm$ 0.45
Grasas	17.80 $\pm$ 0.16
Proteínas	9.99 $\pm$ 0.49
*Carbohidratos	15.55

Los resultados son el promedio de tres repeticiones  $\pm$  desviación estándar.\*Determinados por diferencia.

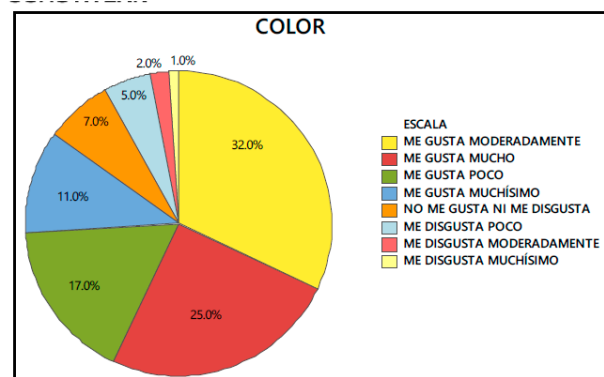
**Tabla 1.** Composición químico proximal de la formulación elaborada.

- Evaluación sensorial de la bebida funcional

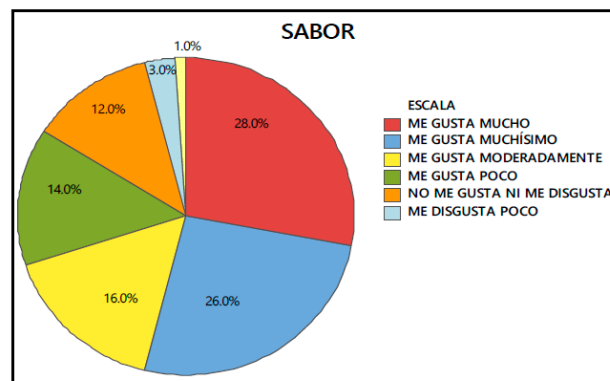
De la evaluación sensorial realizada se obtuvieron los siguientes resultados. En la Figura 1 se muestran los resultados en cuanto a la evaluación de color. Los resultados de la evaluación sensorial mostraron que en cuanto a la aceptación del sabor al 11 % de las personas encuestadas les gustó muchísimo el color que presenta la bebida funcional, al 25% les gusta mucho, al 32% les gusta moderadamente y al 17% les gustó poco.

Con respecto al grado del rechazo del color, al 1% les disgustó muchísimo, al 2% les disgustó moderadamente, al 11% les disgustó poco y el 7% les fue indiferente ya que marcaron la escala ni me gusta ni me disgusta.

Otro de los atributos sensoriales evaluados fue el sabor, los resultados de muestran en la Figura 2. Los resultados mostraron que al 26% de la población evaluada les gustó muchísimo la formulación, al 28% les gustó mucho y al 16 y 14% les gustó moderadamente y poco, respectivamente. En cuanto al rechazo del sabor de la bebida solo al 3% de la población le disgustó poco y el 12% fue indiferente al sabor de la bebida funcional.



**Figura 1.** Porcentajes de aceptación de color de la bebida funcional evaluada.



**Figura 2.** Porcentajes de aceptación de sabor de la bebida funcional evaluada.

Es importante mencionar que la mayoría de los evaluadores no lograron percibir los ingredientes con la cual está formulada la bebida. La mayoría de los panelistas asociaban el sabor de la bebida al de una bebida regional denominada popo (bebida espumosa), que es preparada a base agua, con granos de cacao molidos, arroz, canela, la raíz de una enredadera llamada localmente "chupipe" o "chupipi" y azúcar.

## CONCLUSIONES

En general el fruto del jícara en la agroindustria alimentaria representa una materia prima potencial para su uso en la obtención de concentrados para la elaboración de bebidas con alto valor nutricional, es importante mencionar que el cultivo del jícara está libre de residuos de insecticidas y productos químicos.

El desarrollo de una bebida funcional a partir de semillas de jícara en polvo, es un producto innovador, potencialmente comercializable y saludable como se demuestra con el análisis de químico proximal que en general la hace una buena alternativa como bebida funcional refrescante que podría ser una opción más para las familias Mexicanas.

La bebida obtuvo en general una buena aceptación (75%) por la población en la cual fue evaluada. El impacto que tiene el desarrollo de esta bebida en el sector agrícola de cualquier región puede ser significativo, ya que puede convertir al jícara en una materia prima comercialmente exitosa.

## AGRADECIMIENTOS

A los habitantes de las comunidades de San Bartolo, y Soledad Macin por proporcionarnos los frutos para la realización del proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] Vázquez-Yanes, C., Batis-Muñoz, A.I., Alcocer-Silva, M.I., Gual-Díaz, M., Sánchez-Dirzo, C., (1999). Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. 1–15.
- [2] Lewy, S.V.M. (1960). Morro seed oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 37, 402–403.
- [3] Corrales, C.V., Fliedel, G., Perez, A. M., Servent, A., Prades, A., Dornier, M., y Vaillant, F. (2017). Physicochemical characterization of jicaro seeds (*Crescentia alata* HBK): A novel protein and oleaginous seed. *Journal of Food Composition and Analysis*, 56, 84-92.
- [4] Official Methods of Analysis (2005). AOAC INTERNATIONAL, 18th Ed., Gaithersburg, MD.

## RECUPERACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DEL SUERO DE LECHE CON QUITOSÁN

Helia Isaura Peralta Sánchez, Daniela Hernández Regino, Susana Patricia Miranda Castro\*

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

heliaips.4@gmail.com

### RESUMEN

Se evaluó el rendimiento del uso del quitosán para la recuperación de proteínas de suero de leche, para esto se cuantificó la cantidad de proteína precipitada, así mismo se realizó un análisis electroforético para determinar el tipo de proteínas obtenidas. Se utilizó suero de leche obtenido a partir de la elaboración de queso Oaxaca, el cual fue desgrasado previo al proceso de recuperación de proteínas. Se usaron tres variables, con tres niveles de variación, concentración de quitosán añadida (1,000 mg/L suero, 2,000 mg/L y 3,000 mg/L), tiempo de centrifugación (10, 20 y 30 minutos) y pH del suero de leche (5.5, 6 y 7). Con los resultados obtenidos se establecieron las condiciones con las que se logró un mayor rendimiento

**PALABRAS CLAVE:** Suero de leche, quitosán, proteínas de suero de leche.

### ANTECEDENTES

La distribución y procesamiento de los alimentos se ha convertido en una industria sofisticada, intensiva y mecanizada, que ha llevado al aumento de la productividad y eficiencia, sin embargo, en los últimos años la creciente preocupación por la calidad del producto, la conservación y la sustentabilidad, han llevado a la demanda de sistemas productivos sustentables, amigables con el ambiente y eficientes con los recursos. Desechos y subproductos que exceden la capacidad natural para ocuparse de ellos guían a la alteración ambiental. Si los nutrientes de dichos subproductos pudieran ser recuperados, o los desechos mismos pudieran ser convertidos en compuestos útiles para los animales, humanos, plantas, etc, entonces los recursos nutricionales y/o funcionales incrementarían y al mismo tiempo se minimizaría el problema de eliminación de desechos. [1]

El suero de leche, principal subproducto de la industria láctea, es un desecho importante, ya que para generar 1 kg de queso se deben desechar 9 L de suero, además el alto contenido en lactosa, altos índices de BOD (30,000-50,000 ppm) y COD (60,000-80,000) sugiere un gran problema de contaminación del agua [2], además representa una pérdida de nutrientes. En general, el lacto suero contiene de un 6-10% de sus-

tancias sólidas. [3] Los beneficios nutricionales de este subproducto se atribuyen principalmente a péptidos específicos contenidos en las proteínas. Alimentos para bebés, productos hipoalergénicos, bebidas nutracéuticas, han promovido la selección y desarrollo de métodos de aislamiento y concentración de las proteínas de lactosuero. Los métodos de precipitación son utilizados generalmente en el laboratorio para obtener concentrados proteicos o la producción de péptidos. Se ha demostrado que variables como la agitación, el tiempo de reposo y la concentración del precipitante afectan el pH de la solución y por lo tanto la conformación de la proteína. [4]

Otro subproducto de gran interés para la industria alimentaria es la cáscara de algunos crustáceos, de la cual se obtiene la quitina y tras un procedimiento de desacetilación resulta en quitosán. [5] El quitosán es un polímero cuyas propiedades destacables son la aceleración de la cicatrización de heridas, efecto anti-picor, agente antimicrobiano, acción hidratante [6]. El quitosán es utilizado en la industria alimentaria por sus propiedades funcionales, como espesante, gelificante, emulsificante en alimentos y bebidas [7], por su actividad anti-fúngica y antibacteriana el quitosán también se ha utilizado en

recubrimientos de frutas y hortalizas, las películas de quitosán son flexibles, resistentes y duraderas, minimizando la velocidad de respiración y pérdida de agua del alimento, alargando la vida útil del producto [8], además su naturaleza catiónica lo hace un candidato ideal para el procesamiento de aguas residuales, purificación del agua, clarificación de bebidas además de la recuperación de células y proteínas. [2]

La industria alimentaria es responsable de la gestión sostenible y del uso eficiente de los recursos naturales para aprovecharlos de manera adecuada, es por ello que en la última década se han buscado sistemas de producción que permitan reducir el uso desmesurado e ineficiente de los alimentos y pérdida de nutrientes, en el caso específico del suero lácteo y cáscara de camarón se ha demostrado que a partir de ellos se pueden obtener elementos con propiedades funcionales útiles para la industria y de alto valor nutricional. Es por ello que en este estudio se propone la recuperación de las proteínas de suero de la leche obtenido de la elaboración de queso Oaxaca, mediante su precipitación con quitosán, aprovechando así la naturaleza policatiónica de este biopolímero.

## OBJETIVO(S)

El principal objetivo del presente proyecto fue evaluar el rendimiento del método de recuperación de proteínas de suero de leche utilizando quitosán, así como el tipo de proteínas precipitadas, por medio de método micro Kjeldahl, Bradford y análisis electroforético, para establecer las mejores condiciones de recuperación.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se utilizó suero ácido obtenido a partir de la elaboración de queso Oaxaca, el cual, previo a la recuperación de proteínas, se desgrasó con una centrifugación de discos marca Didacta Italia modelo TAG 1/d. Una vez obtenido el suero sin grasa, se determinó la cantidad de proteína con el método micro Kjeldahl y el pH con un potenciómetro Horizo Ecology Co modelo 5997-20.

El quitosán se obtuvo a partir de la cascara de camarón, la cual fue tratada con las diferentes etapas de extracción de acuerdo a la patente 293022, perteneciente a la Doctora Susana Patricia Miranda

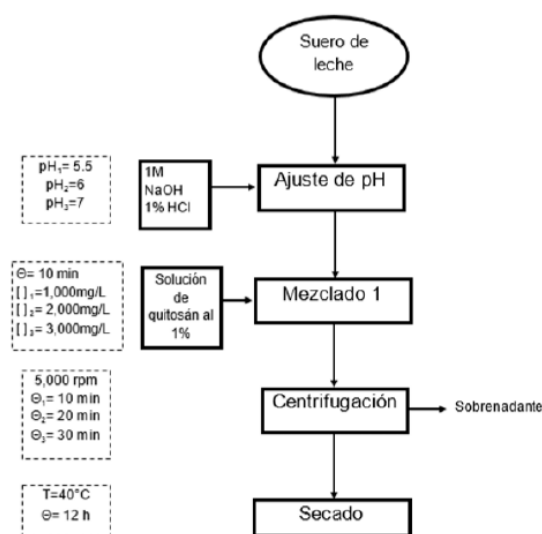
Castro desarrollada en el laboratorio de Biotecnología en la FESC de la UNAM. Se empleó quitosán en solución al 1% en ácido acético.

Se utilizó el diseño estadístico de Taguchi L9, con tres factores y cada uno con tres niveles de variación. El tabla 1 se muestra las corridas totales, las cuales se hicieron por triplicado con 250mL de suero de leche por corrida.

**Tabla 1.** Diseño experimental para la precipitación de proteínas con quitosán.

Corrida	pH	[ ] Quitosán (ppm)	Tiempo (min)
1	5.5	1,000	10
2	6	2,000	10
3	7	3,000	10
4	6	1,000	20
5	7	2,000	20
6	5.5	3,000	20
7	7	1,000	30
8	5.5	2,000	30
9	6	3,000	30

Para la precipitación de las proteínas se siguió el procedimiento que a continuación se muestra.



**Figura 1.** Diagrama general del proceso de aislamiento de las proteínas.

Para el ajuste de pH en el suero de leche se utilizó un potenciómetro Horizo Ecology Co modelo 5997-20, posteriormente se añadió el quitosán y fue mezclado en un Termoagitador Thermo Scientific modelo SP131325, después de 10 min en de agitación constante, se centrifugo con una Centrifuga Servall DuPont Rc-5 Superspeed Refrigerated. Finalmente se separó el sobrenadante y el precipitado, este último se sometió a un secado a 40°C por 12h en una Estufa Quiney Lab modelo 30Gc Lab Oven.

Una vez obtenido el precipitado seco y el sobrenadante, se determinó la cantidad y tipo de proteínas obtenidas: para el sobrenadante se utilizó el método de Bradford, y para el precipitado se determinó el perfil proteico mediante una electroforesis SDS-PAGE.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez obtenido el suero desgrasado, se mantuvo en refrigeración (4°C) para el posterior aislamiento de las proteínas.

Por medio de la técnica micro Kjeldahl, se analizó el porcentaje proteico del suero antes y después del desgrasado para asegurarse de que no hubiera pérdidas mayores de proteínas, así como para verificar que los valores estuvieran dentro de los aceptables. Así mismo, se determinó el contenido de grasa de ambos sueros (antes y después del desgrasado) para cerciorarse que el suero tuviera la menor cantidad de grasa posible. En la tabla 2, se muestra la caracterización de ambos sueros, así como los valores registrados en la norma.

**Tabla 2.** Caracterización del suero de leche.

	Suero de leche inicial	Suero de leche desgrasado	NMX-F-721COFOCALEC201
<b>Proteína (%)</b>	0.899	0.825	Mín. 0.72
<b>Grasa (%)</b>	0.533	0	0.1
<b>pH</b>	4.8	4.8	<6.4

La centrifugación fue útil para la purificación del suero en términos de componentes extraños, es decir, se eliminaron componentes ajenos al suero, como las caseínas, que puede quedar suspendidas en el suero en menor cantidad, a pesar de pasar por una filtración,

esto explica la reducción del contenido de proteína antes y después del desgrasado. Esta reducción también se debe a la pérdida de las MFGM (por sus siglas en inglés "Milk Fat Globule Membrane" proteínas de la membrana del glóbulo graso), estas proteínas usualmente son desechadas de la leche en la elaboración de mantequilla, sin embargo debido a que la leche con la que se elaboró el queso Oaxaca y el suero lácteo, no fue previamente desgrasada estas proteínas quedaron en el suero junto con la grasa láctea, posteriormente al desgrasar el suero, estas proteínas fueron eliminadas. [9]-[11]

Una vez precipitadas las proteínas, se calculó el rendimiento del método en cada corrida, para esto primero se pesó la cantidad de precipitado obtenido, así mismo debido a que no se hizo una medición directa al precipitado, se calculó la cantidad de proteína en dicho precipitado restando a la proteína inicial del suero (8.25g/L) la cantidad de proteína obtenida en el sobrenadante, los resultados del rendimiento por corrida se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.** Rendimiento del método por corrida

Corrida	% de proteína en el precipitado	Rendimiento
<b>1</b>	78.087	40.335
<b>2</b>	78.271	41.099
<b>3</b>	71.756	36.225
<b>4</b>	63.049	31.094
<b>5</b>	86.009	42.885
<b>6</b>	73.640	39.895
<b>7</b>	84.880	38.377
<b>8</b>	83.340	41.600
<b>9</b>	75.309	39.556

Con los resultados obtenidos y con ayuda del software Minitab 16, se pronosticó un rendimiento máximo de 44.301% con un pH de 5.5, concentración de 2,000 mg/L, y un tiempo de centrifugación de 30 minutos como se muestra en la figura 2.

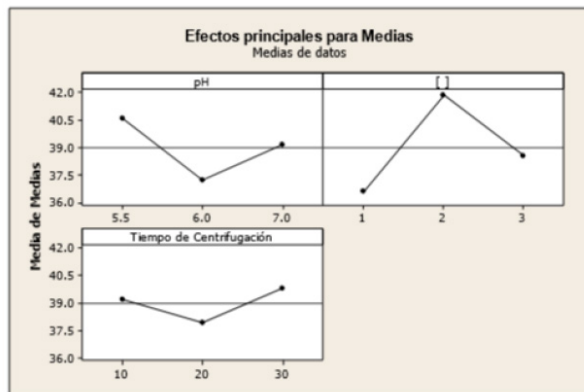


Figura 2. Efectos principales para medias.

La solubilidad del quitosán es limitada cuando se acerca al pKa (6), lo que provoca una disminución en la capacidad de vinculación con las proteínas, obteniendo así un mayor rendimiento con un pH de 5.5. Al añadir un exceso de quitosán provoca que la superficie se sature con el polímero adsorbente y las partículas se restabilizan, siendo entonces la concentración de 2,000 mg de quitosán por litro de suero con la que se obtuvo un mayor rendimiento. El máximo tiempo de centrifugación fue con el que se obtuvo mayor rendimiento.

En la figura 3 se muestra el análisis electroforético obtenido del precipitado, en el carril izquierdo se muestra el indicador de pesos moleculares, y en el carril de lado derecho se muestra el precipitado en polvo, en un inicio también se corrió en un tercer carril el precipitado hidrolizado, sin embargo, debido a la baja solubilidad del precipitado obtenido, la muestra hidrolizada no era homogénea y posiblemente no contenía la cantidad suficiente de proteínas por lo que la visualización de las bandas no fue posible.

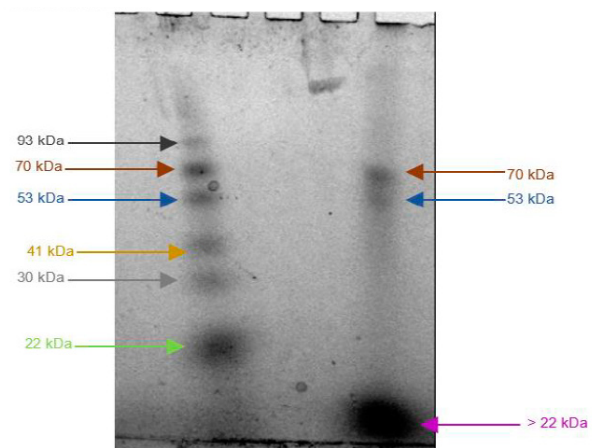


Figura 3. Análisis electroforético SDS-PAGE.

Por su peso molecular se pueden identificar de  $\beta$ -lacto globulina y  $\alpha$ -lacto albumina, ambas con un peso menor a 22 kDa, albumina sérica y lactoferrina, aproximadamente 70 y 80 kDa respectivamente, en 53 kDa.

## CONCLUSIONES

Utilizando un suero ácido obtenido de la elaboración de queso Oaxaca sin pasteurizar, se obtuvo un máximo de 45% aprox. de las proteínas originales del suero de leche, bajo las condiciones estudiadas.

El mayor rendimiento se obtuvo al trabajar con 2,000 ppm quitosán por litro de suero, 30 minutos de centrifugación y con un pH de trabajo de 5.5.

Se logró obtener el perfil proteico del precipitado obtenido, recuperando proteínas de gran valor tanto nutricional como funcional, como lo son la  $\beta$ -lacto globulina y  $\alpha$ -lacto albumina, albumina sérica y lactoferrina.



## AGRADECIMIENTOS

-El presente proyecto forma parte del Taller Multidisciplinario de Ingeniería en alimentos de Biotecnología, el cual brindo recursos para su realización.

-Al proyecto PIAPI 1642, Infección e Inmunidad.

## REFERENCIAS

- [1] Knorr D. (1983). *Sustainable Food Systems*. Connecticut: The Avi Publishing Company.
- [2] Savant, V.D. y Torres, J.A. (2000). Chitosan-Based Coagulating Agents for Treatment of Cheddar Cheese Whey, *Biotechnology*, 16, 1091–1097.
- [3] Alomirah, H.F. y Alli I. (2004). Separation and characterization of  $\beta$ -lactoglobulin and  $\alpha$ -lactalbumin from whey and whey protein preparations, *J. Dairy Sci.* 14, 411–419.
- [4] Jiménez, X., Cuenca, A., Téllez, A., Corona, A. y Muro, C. (2012). Traditional Methods for Whey Protein Isolation and Concentration : Effects on Nutritional Properties and Biological Activity, *J. Mex. Chem. Soc.*, 56(4), 369–377.
- [5] Rinaudo M., (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications," *Prog. Polym. Sci.*, 31(7), 603–632.
- [6] Wypych, G. (2016). Chitosan, *Handb. Polym.*, 12, 54–56.
- [7] Jiménez, M. (2016). Desarrollo de un alimento funcional en forma de golosina tipo gomita a base de quitosán, nopal y xoconostle, Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [8] Leyva, A. y Ruiz, E. (2004). Efecto del tratamiento de películas elaboradas a base de quitosán y aditivos, sobre aguacates variedad Hass (Persea Americana Mill) durante el almacenamiento. Tesis licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [9] García, C., Montiel, R. y Borderas, T. (2014). Grasa Y Proteína De La Leche De Vaca: Componentes, Síntesis Y Modificación, *Arch. Zootec*, 63, 85–105.
- [10] Pérez, M. y Sánchez, M. (2012). Estudio de las proteínas presentes en la membrana del glóbulo graso de la leche de vaca y oveja Máster en Iniciación a la Investigación en Ciencia y Tecnología. tesis de licenciatura. Universidad de Zaragoza. Facultad de Veterinaria.
- [11] Rombaut, R., Dejonckheere, V. y Dewettinck, K. (2007). Thermocalcic Aggregation of Milk Fat Globule Membrane Fragments from Acid Buttermilk Cheese Whey, *J. Dairy Sci.*, 90(4), 1662–1673.

## DISCRIMINACIÓN DE TEQUILAS MIXTOS Y 100% AGAVE MEDIANTE RECONOCIMIENTO DE PAUTAS SUPERVISADAS A PARTIR DE DATOS FT-MIR

Marisol Gutiérrez Vargas<sup>1</sup>, Norma Leticia Pérez Ruiz<sup>1</sup>, Ana Laura Vega Morales<sup>1</sup>,  
Guadalupe Pérez Caballero<sup>1\*</sup>, José Manuel Andrade Garda<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Laboratorio de Físicoquímica Analítica, Unidad de Investigación Multidisciplinaria,  
Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, Campo 4,

Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, 54700, Edo. México, México.

<sup>2</sup>Sección de Química Analítica, Universidad de Coruña, Campus Zapateira, s/n. 15008, España.

perezcg@unam.mx, andrade@udc.es

### RESUMEN

En el presente estudio fueron construidos modelos para la discriminación de dos categorías de tequilas (100% agave y mixtos) empleando dos técnicas quimiométricas supervisadas siendo Curvas de Potencia (CP) y Support Vector Machines (SVM) a partir de datos espectrométricos en Infrarrojo Medio con transformadas de Fourier (FT-MIR). Se trabajaron tequilas jóvenes y blancos de ambas categorías. Los modelos obtenidos resultaron óptimos demostrando que es posible discriminar las categorías mediante análisis económico y práctico de establecer.

**PALABRAS CLAVE:** Tequila, Discriminación, Curvas de Potencia, Support Vector Machines.

### ANTECEDENTES

El Tequila es una bebida alcohólica con Denominación de Origen, la cual es elaborada a partir de la fermentación de azúcares de Agave Tequilana Weber variedad azul y su posterior doble destilación. El tequila puede ser añadido de edulcorantes, colorantes, aromatizantes y/o saborizantes permitidos por la Secretaría de Salud, con objeto de suavizar o intensificar su color, aroma y/o sabor del Tequila". [1] Este procedimiento se llama abocamiento y no debe ser mayor del 1% en relación al peso total del tequila antes de su envasado.

Para que un producto pueda sustentar el nombre Tequila, su producción debe llevarse a cabo en estricto cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-2012. Esta Norma distingue dos categorías conforme al porcentaje de los azúcares provenientes del agave utilizados en su elaboración las cuales son: Tequila 100% agave el cual todas las

azúcares que se fermentan provienen del agave Tequilana Weber, variedad Azul y "Tequila mixto" o simplemente "Tequila"; la Norma indica que por lo menos el 51% de los azúcares que se fermentan deben ser provenientes del agave, complementando el resto con azúcares de otra fuente.

Por lo anterior, se requiere establecer un método de análisis fiable, sencillo y accesible para diferenciar entre estas dos categorías.

### OBJETIVO

Llevar a cabo la construcción de modelos para la diferenciación de 2 categorías de tequilas (100%agave y mixtos), mediante las técnicas supervisadas como Curvas de Potencia (PC) [2] y Support Vector Machines (SVM) [3] para que permitan constatar su autenticación y su calidad, con muestras proporcionadas por el CTR a partir de datos espectrométricos en Infrarrojo Medio con transformadas de Fourier (FT-MIR).

## PARTE EXPERIMENTAL

Muestras proporcionadas por el Consejo Regulador del Tequila: 80 muestras de tequilas (16 blancos mixtos, 23 jóvenes mixtos y 41 100% agave).

Obtención de los espectros: Los espectros fueron obtenidos en Transmittancia en un espectrómetro Perkin Elmer, modelo FT-IR Frontier, detector Smiths-Smiths DuraSampIR II en el intervalo de 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ , con 16 barridos, equipado con un dispositivo ATR de diamante de 1 reflexión.

Software: GenEx© (MultiDAnalysis AB, Gotemburgo, Suecia)

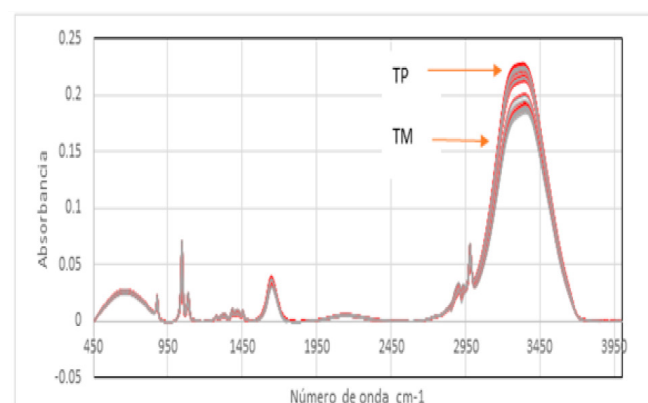
Pretratamiento: Los espectros fueron transformados en absorbancia, corrección de ATR, corrección manual de línea base y se ajustaron a cero.

Muestras de validación: Se escogieron para muestras de validación aquellas mejor comportadas por cada grupo: 5 tequilas %100 agave y 6 tequilas mixtos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1. se presenta con el fin de observar el traslape que hay el conjunto de espectros en el intervalo 4000-450  $\text{cm}^{-1}$ .

No obstante, en la región de 3000 a 3500  $\text{cm}^{-1}$  se encuentra una banda ancha que corresponde a la señal del O-H del etanol y agua, donde se aprecian dos grupos de espectros intercalados correspondientes, en el superior coexisten los tequilas 100% agave y mixtos (TP) y otro donde predominan los mixtos (TM).

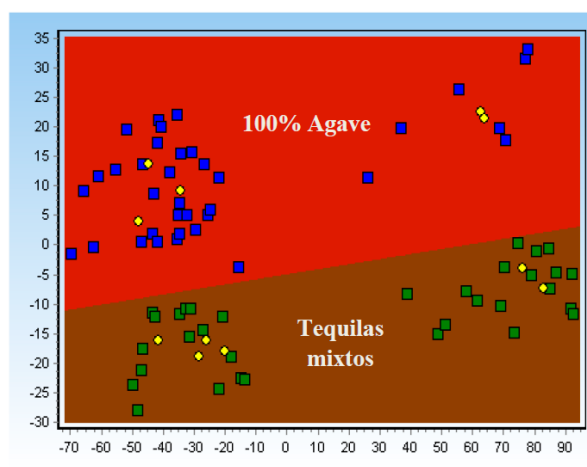


**Figura 1.** Espectros FT-MIR de 80 muestras del CRT, intervalo de 4000-450  $\text{cm}^{-1}$ , sin escalado.

- Support Vector Machines (SVM)

El mejor modelo para esta técnica se obtuvo a partir de una matriz con autoescalado obtenida a partir de un PCA.

El tipo de gráfico fue lineal, usando una penalización admitida de  $C = 2$ , con 100 interacciones. La Figura 2 muestra la frontera lineal entre la discriminación de la categoría; los rombos amarillos representan las muestras de validación las cuales fueron predichas correctamente. La Tabla 1 presenta las muestras de validación correctamente predichas.



**Figura 2.** Fronteras de los modelos obtenidos por SVM con 100 interacciones y  $C=2$ .

TB 5403	-44.53842841...	13.756361963...	1
TB 6900	-34.47114862...	9.1477109666...	1
TB 5318	-48.01563863...	3.9830697295...	1
TB 8642	62.610556325...	22.536861355...	1
TB 8592	63.778391857...	21.316511137...	1
TJM 5400	-41.47273987...	-16.06652161...	2
TJM 8244	76.388770003...	-3.923983123...	2
TBM 4381	-25.91313177...	-16.15920516...	2
TBM 4781	-28.59351157...	-18.84646932...	2
TBM 6940	-20.12237950...	-17.88288674...	2
TBM 5164	82.881901104...	-7.362207301...	2

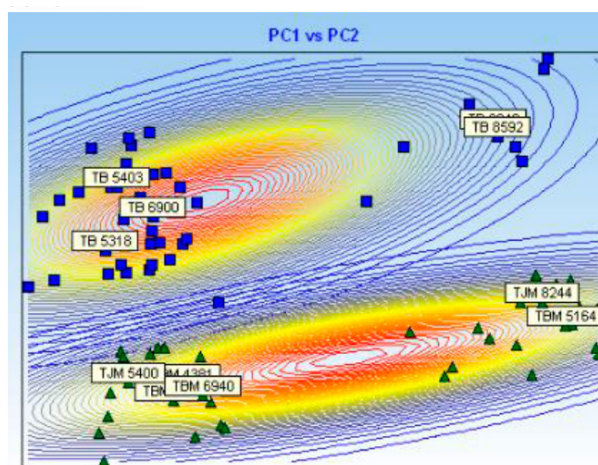
**Tabla 1.** Muestras de calibración correctamente predichas por el modelo SVM

- Curvas de Potencia (CP)

- 1) Primer modelo

Para obtener el modelo se partió de una matriz de trabajo de datos brutos con autoescalado en el intervalo 4000-450  $\text{cm}^{-1}$ .

En el Gráfico 2 se observan los dos conjuntos de elipses de probabilidad de pertenencia de cada categoría determinadas por las muestras de calibración. Las muestras de validación se resaltan con la etiqueta en fondo blanco.



**Gráfico 2.** Curvas de potencia, representación de las elipses de iso-probabilidad en el espacio PC1-PC2, para el conjunto de datos brutos con autoescalado en el intervalo 4000-450  $\text{cm}^{-1}$ .

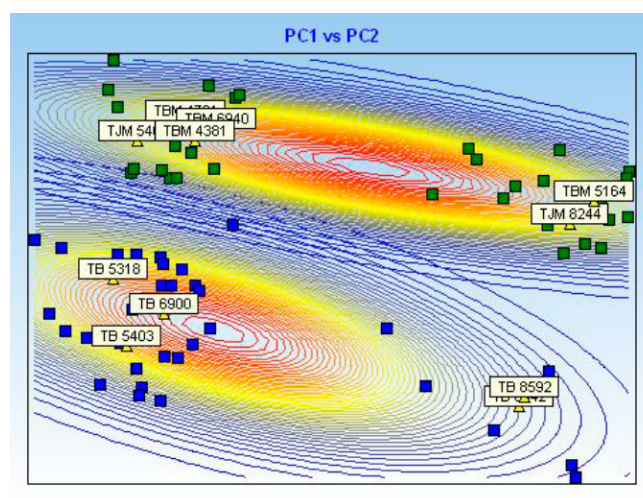
	PC1	PC2	TP	TM
TB 5403	-44.53842841...	13.756361963...	65.29	0.00
TB 6900	-34.47114862...	9.1477109666...	94.79	0.00
TB 5318	-48.01563863...	3.9830697295...	70.83	0.00
TB 8642	62.610556325...	22.536861355...	14.30	0.00
TB 8592	63.778391857...	21.316511137...	13.22	0.00
TJM 5400	-41.47273987...	-16.06652161...	0.00	48.63
TJM 8244	76.388770003...	-3.923983123...	0.00	49.48
TBM 4381	-25.91313177...	-16.15920516...	0.00	69.02
TBM 4781	-28.59351157...	-18.84646932...	0.00	61.61
TBM 6940	-20.12237950...	-17.88288674...	0.00	70.88
TBM 5164	82.881901104...	-7.362207301...	0.00	53.86

**Tabla 2.** Valores de probabilidad de pertenencia de las muestras de tequila de validación (test) para el modelo, para el conjunto de datos brutos con autoescalado en el intervalo 4000-450  $\text{cm}^{-1}$ .

Como se observa en el Gráfico 2 y Tabla 2, las 11 muestras fueron asignadas correctamente a la categoría correspondiente; a pesar de que en algunos casos la probabilidad era baja, se consideraron correctamente clasificadas porque tienen el 0% de probabilidad de pertenecer a la categoría contraria. Este es el caso de los tequilas TB 8642(14.30%) y TB 8592(13.22%).

- 2) Segundo modelo

Para obtener el modelo se partió de una matriz scores con 15 componentes principales obtenidos de datos brutos con autoescalado en el intervalo de 4000-450  $\text{cm}^{-1}$ .



**Gráfico 3.** Curvas de potencia con 15 scores de datos autoescalados en PCA en el intervalo de 4000-450  $\text{cm}^{-1}$

	PC1	PC2	TP	TM
TB 5403	-44.58114022...	-13.82282327...	64.82	0.00
TB 6900	-34.49563089...	-9.153300952...	94.78	0.00
TB 5318	-48.04981082...	-4.029543513...	71.11	0.00
TB 8642	62.648341868...	-22.68997707...	14.28	0.00
TB 8592	63.820333583...	-21.37222593...	13.21	0.00
TJM 5400	-41.51465108...	16.185505462...	0.00	49.06
TBM 4781	-28.58497850...	19.008907918...	0.00	60.76
TBM 6940	-20.14205861...	18.012517103...	0.00	70.15
TBM 4381	-25.93177761...	16.204160624...	0.00	69.06
TJM 8244	76.441041238...	3.9292229477...	0.00	49.59
TBM 5164	82.939104207...	7.3787753899...	0.00	53.75

**Tabla 3.** Valores de probabilidad de pertenencia de las muestras de tequila de validación (test) para el modelo con 15 scores de datos autoescalados en PCA en el intervalo de 4000-450  $\text{cm}^{-1}$ .

Al igual que en el primer modelo, también las 11 muestras de validación fueron asignadas correctamente a la categoría correspondiente (Gráfico 3 y Tabla 3). Asimismo, aunque en algunos casos la probabilidad de pertenencia es baja en dos tequilas blancos, no se asignan a la categoría contraria.

Al comparar las curvas de potencia de los modelos 1 y 2 (Gráfico 2 y 3) se puede observar que son muy similares; las 11 muestras analizadas se asignaron correctamente a las categorías correspondientes (100% agave y Mixtos) con un 0% de probabilidad de pertenecer a la contraria.

## CONCLUSIONES

- Se elaboraron modelos óptimos mediante las técnicas supervisadas, curvas de potencia y SVM, para la discriminación de las dos categorías (Tequilas Mixtos y Destilados de agave), ya que las muestras estuvieron predichas correctamente.
- El presente trabajo involucró espectros FT-MIR en un intervalo de 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$  de 80 muestras de tequila proporcionadas por el CRT.
- En el caso de curvas de potencia los modelos 1 y 2 dieron resultados similares.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al 'Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT)-UNAM' (Clave. IT200918), PIAPI 1651 por el apoyo para realizar el presente trabajo.

Se extiende un amplio agradecimiento al Consejo Regulador del Tequila por el suministro de las muestras de tequilas, lo cual hizo posible la realización del presente trabajo.

El Grupo QANAP (Química Analítica Aplicada) agradece a la Xunta de Galicia la Financiación como Grupo de Referencia Competitivo (Ref:ED431C 2017/28).

## REFERENCIAS

- [1]. NOM-006- SCFI-2012. (2012). Bebidas alcohólicas-Tequila- Especificaciones (p. 20). México, Diario Oficial de la Federación.
- [2]. Andrade-Garda, J.M. (1999). Application of Simplified Potential Curves to Classification Problems. *Química Analítica*, 18 (3), 225-231
- [3]. Liang Y., Xu Q.S., Li H.D., Cao D.S. (2016). Support Vector Machines and their application in chemistry and biotechnology. CRC-Press.

## DIFERENCIACIÓN DE TEQUILAS AUTÉNTICOS Y DESTILADOS DE AGAVE POR TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADAS A PARTIR DE DATOS DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE INFRARROJO MEDIO (FT-MIR).

Hugo Jiménez Falcón <sup>(1)</sup>, Víctor Zúñiga Arroyo <sup>(1)</sup>,  
Guadalupe Pérez Caballero <sup>(1)\*</sup>, José Manuel Andrade Garda <sup>(2)</sup>

1) Laboratorio de Fisicoquímica Analítica y Especiación Química. Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 4. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán Izcalli, 54700, Estado de México.

2) Universidad de Coruña, Grupo de Química Analítica Aplicada (QANAP), Campus da Zapateira, 15071, A Coruña, España.

perezcg@unam.mx, andrade@udc.es

### RESUMEN

En el mercado existe un grupo de bebidas alcohólicas denominadas “destilados de agave”, estas presentan características físicas similares a las del tequila, y estos no son regulados por alguna norma u organismo, esto supone un problema de calidad y por lo tanto de salud para los consumidores, debido a esto, es importante estudiarlos. En el presente trabajo, se plantea un modelo quimiométrico capaz de diferenciar tequilas y destilados de agave por técnicas no supervisadas como son Análisis de Componentes principales (PCA) y Análisis Cluster (CA). Se presentan también pruebas que confirman la diferencia entre tequilas y destilados de agave. Se plantea además la posibilidad de continuar la investigación con un mayor número de muestras y otras técnicas quimiométricas.

**PALABRAS CLAVE:** Destilados de agave, Tequila, Diferenciación, Calidad, Quimiometría, Espectrofotometría FT-MIR.

### ANTECEDENTES

De acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-006-SCFI-2012 [1], el tequila es una bebida alcohólica obtenida por destilación de mostos, preparados directa y originalmente del material extraído, en las instalaciones de la fábrica de un productor autorizado la cual debe estar ubicada en el territorio comprendido en la declaración, derivados de las cabezas de Agave tequilana Weber variedad azul, previa o posteriormente hidrolizadas o cocidas, y sometidos a fermentación alcohólica con levaduras, cultivadas o no, siendo susceptibles los mostos de ser enriquecidos y mezclados conjuntamente en la formulación con otros azúcares hasta en una proporción no mayor de 49 % de azúcares reductores totales expresados en unidades de masa (tequilas

mixtos), en los términos establecidos por la NOM y en la inteligencia que no están permitidas las mezclas en frío. Los tequilas se clasifican según su tiempo de reposo en blancos, jóvenes, reposados, añejos y extra añejos. Todas las clases de tequilas, con excepción de los tequilas blancos, son susceptibles al abocamiento; proceso que consiste en el añadido de edulcorantes, colorantes, aromatizantes y/o saborizantes permitidos por la Secretaría de Salud, con objeto de proporcionar o intensificar su color, aroma y/o sabor. Así mismo, todos los tequilas, con excepción de blancos y extra añejos, pueden ser combinados en una proporción no mayor a 49%, con tequilas de clase superior, aunque estos seguirán perteneciendo a su clase inicial. Un licor de agave es el producto elaborado a base de bebidas alcohólicas destiladas, espíritu neutro, alcohol

de calidad o alcohol común o mezcla de ellos; con un contenido no menor de 1,0% (m/v) de azúcares o azúcares reductores totales y agua; aromatizados y saborizados con procedimientos específicos y que pueden adicionarse de ingredientes, así como aditivos y coadyuvantes permitidos en el acuerdo correspondiente de la Secretaría de Salud. Su contenido alcohólico es de 13,5% a 55% Alc. Vol. y este está regulado por la norma oficial mexicana NOM-199-SCFI-2017 [2].

En el mercado existe otro grupo de bebidas denominadas como "destilados de agave", los cuales no están regulados por ninguna norma, por lo que, en muchos casos, su origen y composición es dudoso.

Debido a la susceptibilidad de las bebidas alcohólicas a ser adulteradas, y el hecho de que los destilados de agave no estén regulados por ninguna norma u organismo, esto supone un problema que podría afectar a la salud de los consumidores.

En el presente trabajo se plantea un modelo quimiométrico capaz de diferenciar entre tequilas y destilados de agave por métodos no supervisados, como son Análisis de Componentes Principales (PCA) y Análisis Clúster (CA).

## OBJETIVO

Plantear un modelo quimiométrico a partir de datos de espectros FT-MIR que diferencie tequilas y destilados de agave a partir de las técnicas de Análisis de Componentes Principales (PCA) y Análisis Cluster (CA).

## PARTE EXPERIMENTAL

Muestras utilizadas: se utilizaron 132 muestras: 30 tequilas blancos, 31 tequilas añejos y extra-añejos, 40 tequilas reposados y 31 muestras etiquetadas por el CRT como "destilados de agave" (20 destilados y 11 licores de agave).

Asimismo, los tequilas añejos y extra añejos son considerados como una sola clase que se denominó como tequilas añejos. Todas las muestras fueron proporcionadas por el CRT.

Equipo utilizado: Espectrómetro FT-IR marca Perkin-Elmer, modelo Frontier equipado con un accesorio U-ATR de diamante de una sola reflexión.

Software: Los modelos fueron construidos empleando PCA y CA con el software GenEx 6© (MultiDAnalysis AB, Göteborg, Suecia).

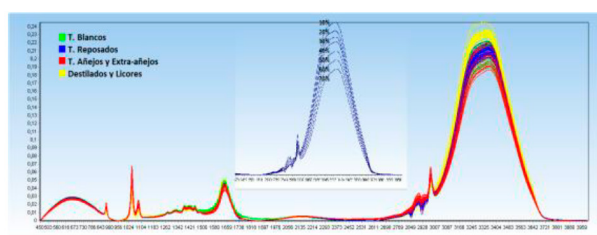
Los espectros FT-MIR de las muestras se midieron directamente en el ATR, en el intervalo de 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$ ,

con 16 barridos y con una resolución nominal de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

Los espectros obtenidos en transmitancia se transformaron a absorbancia, se realizó la corrección ATR y la corrección manual de línea base. A los espectros con el pretratamiento mencionado se les denominó "espectros brutos".

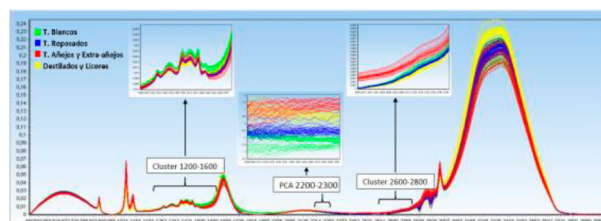
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestran los espectros obtenidos tras realizar la corrección manual de la línea base, En el intervalo de 450 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ .



**Figura 1.** Espectros brutos de todas las muestras, distinguiendo el tipo de muestra del que se trata y comparando la banda del enlace O-H con diluciones etanol-agua

Al no obtener resultados satisfactorios empleando los datos de los espectros completos, se procedió a utilizar intervalos, siendo el de 2200-2300  $\text{cm}^{-1}$  para PCA y de 1200-1600 y 2600-2800  $\text{cm}^{-1}$  para CA.



**Figura 2.** Acercamiento de los intervalos empleados para el estudio.

- Análisis de Componentes Principales  
Las Figuras 3 y 4 muestran la formación de tres grupos correspondientes a las distintas clases de tequila (blancos, reposados y añejos-extra añejos) y un grupo conformado por los "destilados de agave". Este modelo se obtuvo en el intervalo 2200-2300  $\text{cm}^{-1}$ , sin ningún escalado.

La varianza acumulada de los tres primeros componentes es de 99.9843%, de la cual: PC1: 99.8 %, PC2: 0.14 % y PC3: 0.003 %.

En la figura 3, se puede observar que PC1 permite la separación entre los grupos destilados de agave y tequilas añejos (por un lado) de tequilas reposados y blancos (por otro); en tanto que PC2 esencialmente separa los tequilas añejos de los blancos.

No obstante existe una zona intermedia (señalada por un círculo en la Figura 3) donde coexisten algunos destilados de agave y tequilas reposados, los cuales probablemente posean un origen (o composición) similar.

Lo que este modelo puso en evidencia es que los llamados "destilados de agave" son diferentes a las clases típicas de los tequilas comerciales.

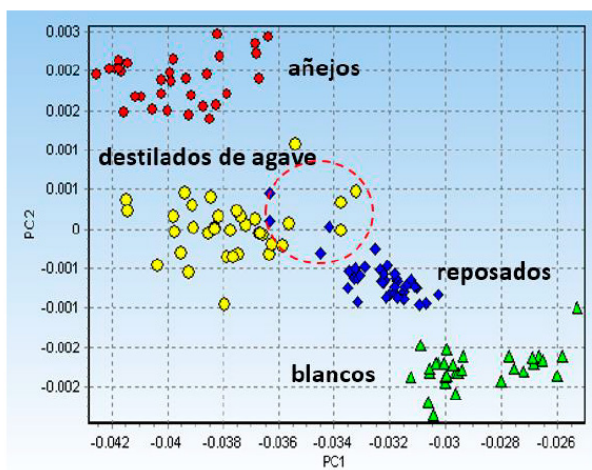


Figura 3. Gráfica de scores en el subespacio PC1-PC2.

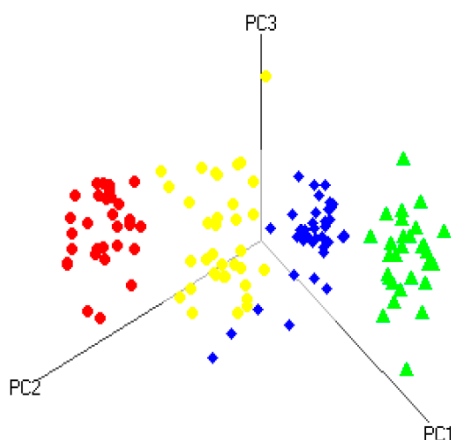


Figura 4. Gráfico de scores en el subespacio PC1-PC2-PC3.

#### • Análisis Cluster

En la figura 5 se presenta un dendrograma construido con algoritmo de Ward y distancia Euclidiana al cuadrado, sin escalado, en los intervalos de 1200-1600  $\text{cm}^{-1}$  y 2600-2800  $\text{cm}^{-1}$ . Este dendrograma se encuentra dividido en los conglomerados 1 y 2. El grupo 1 se divide en dos subgrupos, el 1a contiene a los "destilados de agave" y a los tequilas reposados (que finalmente se diferencian, excepto por un ligero solapamiento) y el subgrupo 1b agrupa a los tequilas añejos. El conjunto 2 agrupa a los tequilas blancos.

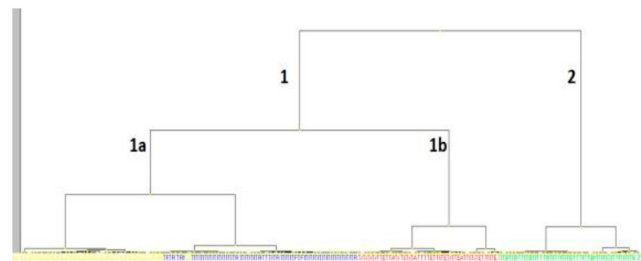


Figura 5. Dendrograma algoritmo de Ward y distancia Euclidiana al cuadrado.

## CONCLUSIONES

- Se logró la diferenciación de "destilados de agave" y tequilas mediante la construcción de dos modelos empleando técnicas de clasificación no supervisadas, PCA y CA.
- El modelo de PCA se obtuvo en el intervalo de 2200-2300  $\text{cm}^{-1}$ , sin ningún escalado.
- El modelo de CA se obtuvo en los intervalos de 1200-1600  $\text{cm}^{-1}$  y 2600-2800  $\text{cm}^{-1}$ , sin ningún escalado.
- Se evidenció que existen "destilados de agave" que comparten similitudes con algunos tequilas (de tipo reposado). Queda por realizar un estudio acerca de la composición de estas muestras.



## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al 'Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PA-PIIT)-UNAM' (Clave. IT200918) y al PIAP11651 por el apoyo para realizar el presente trabajo.

Se extiende un amplio agradecimiento al Consejo Regulador del Tequila por el suministro de las muestras de tequilas, lo cual hizo posible la realización del presente trabajo.

El Grupo QANAP (Química Analítica Aplicada) agradece a la Xunta de Galicia la Financiación como Grupo de Referencia Competitivo (Ref: .ED431C 2017/28).

## REFERENCIAS

[1]. Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-2012. Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones. Recuperado de <https://www.crt.org.mx/images/Documentos/NOM-006-SCFI-2005.pdf>

[2]. Norma Oficial Mexicana NOM-199-SCFI-2017. Bebidas alcohólicas-Denominación, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. Recuperado de: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5502882&fecha=30/10/2017](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5502882&fecha=30/10/2017)

## EFFECTO DEL ESCALDADO EN EL SECADO DE MANZANA VARIEDAD GOLDEN DELICIOUS.

Eduardo Jurado Hernández<sup>1</sup>, Francisco Javier López Martínez<sup>1</sup>, María Elena Vargas Ugalde<sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

[mevargasu@gmail.com](mailto:mevargasu@gmail.com)

### RESUMEN

Se estudió el pretratamiento por escaldado, tanto en inmersión como por microondas antes del secado convectivo de manzana en forma de láminas para elaborar un dulce con y sin adición de azúcar. Se determinó color, textura, humedad final, actividad residual enzimática (ARE) para el proceso de escaldado y de secado. Después del escaldado la ARE obtenida fue de 31.92 y disminuye casi totalmente durante el secado de la lámina de manzana. El escaldado por microondas disminuye daños estructurales de la manzana. Los valores L/a de las muestras escaldadas con agua y las que contenían azúcar, disminuyeron notablemente al ser secadas. Escaldar con microondas originó un menor cambio total de color de las muestras. Se decidió secar 3 horas a 95 °C para obtener dulce de manzana con la humedad final menor, aunque se tiene un mayor cambio de color del producto.

**PALABRAS CLAVE:** Escaldado por inmersión, Escaldado por microondas, Secado, Manzana, Color.

### ANTECEDENTES

Todos los alimentos, tanto los procedentes de animales como de vegetales, son productos de carácter perecedero y, están sometidos al deterioro gradual determinado por numerosas reacciones bioquímicas, fundamentalmente ocurre crecimiento microbiano, cambios químicos y bioquímicos, consecuencia de actividades enzimáticas, que alteran su estructura y funcionalidad, a la vez que aparecen nuevos compuestos que, por su naturaleza tóxica o por su influencia negativa sobre la estructura y las características organolépticas de los alimentos, hacen que estos sean inaceptables para el consumo. Estas alteraciones ocurren rápidamente en condiciones de actividad de agua elevada, a temperaturas favorables para el desarrollo de las funciones vitales y con valores de pH cercanos a la neutralidad. [1].

El objetivo principal del proceso de escaldado es la inactivación enzimática del producto, para evitar el pardeamiento enzimático en el alimento, aunque ofrece otras ventajas, como la reducción de la

carga microbiana y el apoyar en la limpieza del producto. El escaldado es comúnmente usado como un pretratamiento para prevenir la eliminación de sabores y cambios de color resultando de reacciones enzimáticas y disminuir la carga total de microorganismos. [2] propósito es acondicionar el material en diversos sentidos: ablandar para obtener un mejor llenado de los envases, inactivar enzimas causantes de malos olores y sabores, especialmente las polifenoloxidasas y peroxidadasas y detectar fallas en el color natural del producto. [3] El escaldado es un tratamiento térmico de corta duración, consiste en mantener el producto algunos minutos a una temperatura de 95-100°C, [4]

El escaldado produce alteraciones estructurales profundas (rompimiento de la pared celular, disrupción de la membrana, contracción de los espacios intracelulares, etc.) que pudiera afectar el transporte de masa durante los siguientes pasos. Así mismo, dependiendo del área de contacto con el agua o vapor, de la concentración de solutos en el agua y de la agitación, se producen más o menos pérdidas de nutrientes, especialmente de vitaminas y minerales, debidas al efecto térmico,

a los arrastres por disolución de algunos de los componentes del alimento en el fluido de tratamiento y a los efectos oxidativos del proceso. [2] Existen diferentes formas de llevar a cabo este proceso: Escaldado con agua en ebullición, calentamiento por microondas, uso de vapor [5] Después del escaldado, una de las operaciones a las que puede someterse el producto es el secado, con objeto de alargar su vida de anaquel. La manzana se considera el fruto del manzano, un árbol de la familia de las Rosáceas que pueden alcanzar los 10 metros de altura y que se encuentra distribuido por las regiones templadas de todo el mundo. El fruto es un pomo, por lo general de forma ovoide, en cuyo interior se esconden numerosas semillas de color pardo. Chihuahua ocupa el primer lugar en producción en el cultivo de manzana a nivel nacional, con aproximadamente 26,882 hectáreas de superficie plantadas, principalmente de las variedades: Golden Delicious, Red Delicious, Rome Beauty y Galas, con una producción de 684,669 toneladas y un valor de la producción de 3,238.48 millones de pesos. [6] Las principales variedades que se cultivan en las serranías de Hidalgo y Querétaro son "Golden Delicious", "Red Delicious" y "Rayada", poseen buenos atributos de calidad pero presentan serias limitantes en la comercialización, debido a daños por granizo, roña (*Venturia inaequalis*), mosca de la manzana (*Ghagoletis pomonella*), heladas durante la floración o por maduración tardía. [7]. La variedad Golden Delicious es de origen americano, posee una piel amarilla verdosa con pequeños puntos oscuros (lenticelas) que son los órganos respiratorios de la fruta. Su forma es redonda y regular. El fruto es grande y de color amarillo dorado, es más largo que ancho, con la carne blanca amarillenta, fija, jugosa y perfumada. El pedúnculo es largo y la piel delgada pero resistente, cubierta con lenticelas grisáceas. Es una excelente polinizadora para la mayoría de las variedades comerciales. Es sensible al mal blanco, moteado y pulgón lanífero. Se trata de una variedad muy productiva cuya recolección se da entre los meses de Septiembre y Octubre. [8]

### OBJETIVO(S)

General: Evaluar el efecto de dos tipos de escaldado en el color y la textura de la manzana "Golden Delicious" así como en la velocidad de secado para evitar el pardeamiento enzimático y obtener un dulce de manzana.

Particulares:

- 1) Determinar el tiempo de escaldado necesario para disminuir la actividad de la enzima peroxidasa utilizando el método de reducción decimal así como su cuantificación por espectrofotómetro, para reducir el pardeamiento enzimático generado durante el secado de las manzanas.
- 2) Determinar la cinética de degradación de la textura y del color de la manzana en los procesos de escaldado y secado, utilizando un texturómetro y análisis de imágenes respectivamente, que permitan evaluar el efecto del tipo de escaldado en el secado de la manzana.
- 3) Establecer las condiciones de secado que permitan eliminar la cantidad de agua necesaria para obtener un dulce de manzana, con (10%) y sin adición de azúcar.

### PARTE EXPERIMENTAL

Se utilizaron manzanas variedad "Golden Delicious", procedentes del estado de Chihuahua, adquiridas en el mercado de la Merced de la ciudad de México. Las manzanas se clasificaron tomando en cuenta la masa, el diámetro ecuatorial y que se encontraran libres de daños. Posteriormente se realizó el lavado manual con agua y jabón seguido de una desinfección con agua clorada para su inmediato escaldado. Se escaldaron, ya fuera con agua a 92 0C durante 8.5 min o, por microondas por 3 min o 10 s a 510 W. Las manzanas se sometieron a un choque térmico por 1 min en agua helada, se descaron y se molieron durante 1 min, se moldearon placas infinitas y se secaron en un horno convectivo Hamilton Beach a 70 ó 95 0C. Antes y después del escaldado y del secado, se les determinaron a las muestras: textura (texturómetro TAXT, geometría Warner Bratzler), color (software Fiji, parámetros L, a, b), volumen y actividad enzimática (Espectrofotometría).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se realizó de forma teórica el cálculo del tiempo de escaldado en puré de pera (no se encontraron datos para manzana) para inactivación de peroxidasa (52.5%) el cual fue de 3.5 min.

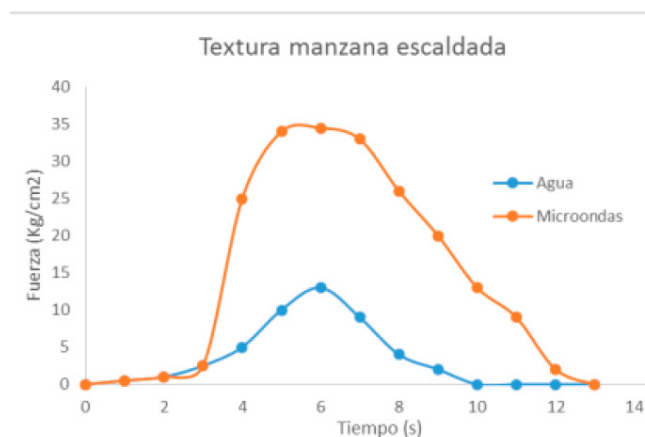
En la Tabla 1 se muestran los resultados experimentales de la Actividad Residual Enzimática (ARE) para la manzana después de diferentes procesos.

Se observa que la ARE disminuye con el aumento de la temperatura. Después del escaldado la ARE obtenida fue de 31.92, difiriendo de la calculada teóricamente para pera, lo cual puede deberse a la composición y estructura distintas de ambas frutas. La ARE disminuye casi totalmente durante el secado de la lámina de manzana (75°C), lo cual permite que el proceso de escaldado no sea tan brusco pues durante el secado continúa reduciendo la ARE hasta casi su totalidad.

Temperatura	Muestra	Actividad Residual Enzimática (ARE)
26.86	Muestra Cruda	100
29.97	Escaldado #2	31.915
35.07	Escaldado #3	23.660
40.75	Escaldado #4	16.426
75	Muestra Seca	0.426

**Tabla 1.** Actividad Enzimática Residual en Distintas Etapas de Proceso.

En la Figura 1 se presenta el perfil de textura de la manzana escaldada por inmersión y por microondas, observándose una destrucción parcial de la estructura de la manzana provocada por el calor del escaldado por inmersión, en tanto que escaldado con microondas logra inactivar la enzima sin dañar estructuralmente a la manzana.



**Figura 1.** Perfil de textura de manzana escaldada por inmersión y por microondas.

Se encontró que las muestras escaldadas en microondas tienen una mayor humedad residual. Los valores de L, a, b individualmente no tuvieron muchos cambios con la humedad de la muestra, pero al dividir L/a se encontró que las muestras escaldadas con agua tenían una disminución notable de estos valores al ser secadas, con respecto a las otras muestras, así como las muestras que contenían azúcar. Por otra parte, escaldar en microondas resultó en un menor cambio total de color de las muestras. Se estableció un tiempo de secado de 3 horas y una temperatura de 95 °C para obtener el dulce de manzana con la humedad final menor, aun cuando se tiene un mayor cambio de color del producto.

## CONCLUSIONES

Se puede considerar al escaldado en microondas como mejor opción para este proceso debido a que va a generar un menor cambio de color total ( $\Delta vE$ ) después del proceso de deshidratación influyendo muy ligeramente si se decide adicionarle sacarosa o no. Además, un escaldado en microondas genera que el producto contenga la mayor parte de sus compuestos nutrimentales debido a que no se genera una pérdida de éstos por el proceso de lixiviación al momento de escaldar con agua.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero de los siguientes proyectos, para la realización de este trabajo:

DGAPA PAPIME PE204917

PIAPI FESC 1650

## REFERENCIAS

- [1] Gil, A. (2010). Tratado de Nutrición. Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. España: Médica Panamericana.
- [2] González-Fésler, S.D., Gómez, P. y Alzamora, S.M. (2007). Convective air drying of apples as affected by blanching and calcium impregnation". *Journal of Food Engineering*, 87, 323-332.
- [3] Morlan, D.A., (2013). Manual de procesamiento de productos agrícolas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM. México.
- [4] Casp, A, Abril, J. (1999). Procesos de conservación de alimentos. España: Mundi Prensa – Universidad Pública de Navarra.
- [5] Zendejas J.A., (2005). Análisis comparativo para el escaldado de Manzana (*Malus pumila*) por método tradicional y por tecnología de microwaves. Tesis de licenciatura. Facultad de Química - UNAM. México.
- [6] Rocha, E. (2015). Plan Rector del sistema producto manzana). México: SAGARPA.
- [7] Fernández, R., Parra, R., Pérez, S., Vera, M., Zacatenco, M., (2010). Variedades de Manzana recomendadas para las serranías de Hidalgo y Querétaro. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias - SAGARPA.
- [8] Infoagro (2017). El cultivo de la manzana Recuperado en Septiembre 2017 de: [http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/manzana.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/manzana.htm)

## EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS DE UN ADEREZO DE CEBOLLA Y JENGIBRE

Jesús Tonatiuh Cedillo Nieto, Diana Ramírez Ponce, Daniela Mallinaly Salazar Lozano, Sandra Margarita Rueda Enríquez\*, María Elena Pahua Ramos\*.

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1, UNAM.  
Departamento de Ciencias Químicas, Sección de Ciencia Básica

[ruesam17@yahoo.com.mx](mailto:ruesam17@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

La cebolla y el jengibre aportan compuestos antioxidantes que ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares, son fuente de vitaminas y minerales. En el presente trabajo se elaboró un aderezo de cebolla y jengibre, evaluando sus propiedades fisicoquímicas con la finalidad de dar otra alternativa de consumo de ambas hortalizas y ofrecer un producto novedoso. Se elaboró incluyendo en la formulación un 4% de cebolla y 1.5% de jengibre, posteriormente se evaluaron sus propiedades fisicoquímicas obteniendo un pH de 3.4, acidez de 0.45%, un contenido de proteína de 2.81% y 17.8% de lípidos; de los cuales una parte son grasas insaturadas por la adición de aceite de oliva. Este aderezo presentó una actividad de agua de 0.89, sin embargo, debido a su pH bajo y al contenido de grasa resulta ser un producto poco perecedero; siendo una alternativa de consumo que proporciona energía y nutrientes que benefician la salud de los consumidores.

**PALABRAS CLAVE:** Cebolla, jengibre, aderezo, propiedades fisicoquímicas, aporte nutritivo.

### ANTECEDENTES

Los consumidores demandan alimentos de buen sabor y que posean atributos benéficos para la salud. Evidencias epidemiológicas demuestran la relación inversa entre la incidencia de enfermedades cardiovasculares y cáncer con la ingesta de frutas y hortalizas [1-4].

El consumo de cebolla y el jengibre, está asociado a la reducción de riesgos de padecer enfermedades cardiovasculares, pulmonares y cáncer. Además, es conocido su efecto antibiótico [1, 5]

La cebolla es una planta herbácea perteneciente a la familia de las amarilidáceas del género *Allium*. En México la especie de mayor producción es la *Allium cepa*, con una producción de más de 1 millón de toneladas en el 2015 [6], el consumo per cápita fue de 9.9 Kg/año y somos el 5to lugar en producción a nivel internacional. Esta hortaliza es rica en compuestos antioxidantes como flavonoides y querceti-

na que ayudan al sistema cardiovascular [1, 7].

La cebolla es uno de los ingredientes básicos de la dieta de los mexicanos. Se utiliza ampliamente en la cocina mexicana en prácticamente todas las preparaciones culinarias para mejorar el sabor de otros alimentos: en crudo, en cualquier tipo de ensalada, encurtida, o cocinada: hervida, asada, frita, en estofados, salsas, sofritos, escabeches, etc. Otra gran ventaja es que las diferentes variedades de cebolla (dulce, morada, blanca, chalota, etc.) están disponibles todo el año [5].

Por otro lado, el jengibre contiene gingeroles y shogaoles que aportan beneficios a la salud, como ayudar a la digestión, diabetes y prevenir la formación de coágulos en la sangre [3]. El jengibre es muy utilizado en diversos países, especialmente en India y China, donde el jengibre fresco se usa como condimento para preparar vegetales y platos de carne, así como aromatizante en bebidas y muchas otras preparaciones [8].

El rizoma, tiene un fuerte olor semejante al que tienen los cítricos, especialmente a limón, este olor se percibe inmediatamente después de ser cortado o rayado, los compuestos que le otorgan este aroma son  $\alpha$ -zingiberene, arcurcumene,  $\beta$ -bisabolene [9]. Su importancia nutricional reside en su amplísimo espectro de aceites esenciales (2 a 3%) y sustancias picantes no volátiles [3], estos compuestos presentes son: los (6)-gingerol, (6)-shogaol, (6)-paradol y zingerone los cuales producen una sensación picante en la boca [8].

De acuerdo a la Norma Mexicana NMX-F-341-S-1979 [10] un aderezo es el producto alimenticio que sirve para impartir sabor o aroma a otros alimentos. Es una salsa que a menudo es usada para acompañar ensaladas, son emulsiones formadas con una base acuosa y una fase grasa, la incorporación de ingredientes con alto valor nutritivo como la cebolla y el jengibre, que se ha comprobado ayuda a prevenir algunas enfermedades, genera productos con valor agregado ya que pueden prevenir algunas enfermedades, además mejoran el sabor y su calidad nutritiva, proporcionando un producto novedoso.

## OBJETIVOS

Determinar las propiedades fisicoquímicas de un aderezo de cebolla y jengibre para presentar como alternativa de consumo de ambas hortalizas.

Evaluar las propiedades fisicoquímicas de la cebolla (*Allium cepa*) y jengibre (*Zingiberaceae*) para la elaboración de un aderezo.

Elaboración y evaluación fisicoquímica de un aderezo de cebolla y jengibre para conocer su aporte nutricional.

## PARTE EXPERIMENTAL

Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la cebolla y el jengibre.

Se inició con la preparación de la muestra las cuales se pelaron y se trituraron para obtener una muestra homogénea y representativa.

Las propiedades fisicoquímicas fueron evaluadas a través de las siguientes técnicas: Humedad por la técnica de Destilación azeotrópica, Proteína por Micro Kjendhal, CHOS por Lane Eynon, Fibra por Kennedy y Minerales por la técnica de Klemm [11].

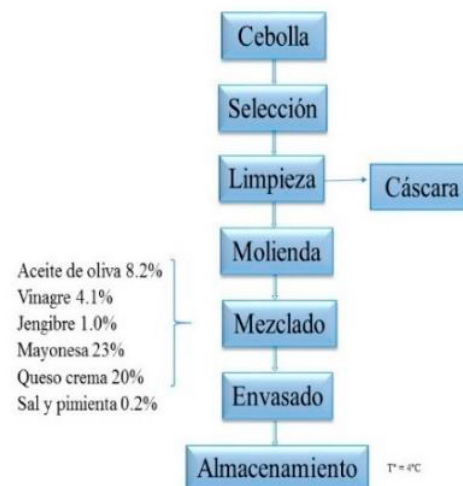
Posteriormente se elaboró el aderezo empleando la formulación que se presenta en la tabla 1.

Ingredientes	%
Aceite de Oliva	8.2
Vinagre	4.1
Jengibre	1.0
Cebolla	43.5
Mayonesa	23
Queso crema	20
Sal y Pimienta	0.2

Referencia: Borda, 2011 [12]

Tabla 1. Formulación de aderezo.

El diagrama de proceso que se siguió se muestra en la figura 1.



Una vez elaborado el aderezo, se procedió a evaluar sus propiedades fisicoquímicas, las cuales se determinaron por las mismas técnicas empleadas en la cebolla y el jengibre, variando únicamente la determinación de humedad que se determinó por la técnica de secado por estufa en cajas con arena y la determinación de grasa por el método de Röse Gottlieb.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2, se presentan los resultados del análisis químico proximal que se realizó a la cebolla.

Componente Químico	Datos Experimental (%)	Dato Bibliográfico (%)
Humedad	85	87.6
Proteína	2.3	1.3
Cenizas	0.3	0.6
Carbohidratos	7.6	5.6
Fibra	3.1	3.1
Lípidos	0.3	0.3
Total	98.6	98.5

Referencia: Friedrich, 1991[15]

**Tabla 2.** Resultados del Análisis Químico Proximal de la Cebolla.

La cebolla es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel mundial, el género *Allium* es la más cultivada en diversas regiones del Mediterráneo, América y Asia. La cebolla se caracteriza por su sabor distintivo y picante que se deben a varios compuestos de azufre. La composición química varía de variedad a variedad, por la temporada de producción y la vida de almacenamiento. Lawande 2012[5], reporta la composición química aproximada de la cebolla del género *Allium cepa*, en el que reporta que el contenido de humedad va de 88.6–92.8%. Como se observa en la tabla 2 el valor reportado experimentalmente es más bajo al igual que el reportado por Friedrich [15] En Tablas de composición química de Alimentos, 1991; sin embargo y como menciona Lawande, esto varía por la temporada de cultivo. Por otro lado, los valores reportados por este autor en cuanto al contenido de proteínas son 0.9–1.6 % y el valor obtenido experimentalmente es de 2.3 %, esto es de alguna manera lógico pues si se tiene un contenido de humedad menor, el contenido del resto de los componentes será mayor, y recordemos que en este caso el contenido de proteína también depende del tipo de suelo en el que fue cultivada, ya que si es un suelo alto en N<sub>2</sub> se absorberá más nitrógeno y se verá reflejada en el contenido de proteína [13]. El resto de los componentes entra dentro de los valores reportados por el autor.

En la tabla 3 se reporta los resultados del análisis fisicoquímico y termodinámico de la cebolla.

	Datos Experimental	Dato Bibliográfico
pH	5.2	5.4 a 5.8
Acidez	0.20 % de ác. Acético	0.2 a 0.5 % de ác. Acético*
Actividad de agua (Aw)	0.8	0.88
Conductividad eléctrica (Ce)	0.96 ohms	----
Calor específico (Cp)	2.12 KJ/Kg°C	1.93 KJ/Kg°C

Referencia Anaya, 1999.

**Tabla 3.** Resultados del Análisis Físicoquímico y termodinámicos de la cebolla.

En alimentos el grado de acidez indica el contenido en ácidos libres; el cual es usado como un parámetro de calidad en los alimentos; mediante las determinaciones del índice de acidez presentes en ellos y es inversamente proporcional al pH. Como se observa en la tabla 3 el valor del pH está ligeramente ácido y la acidez está en el límite inferior de lo reportado por Lawande 2012 [5], por lo que se puede considerar adecuado para la cebolla.

Las propiedades térmicas de alimentos se deben de conocer para desarrollar los cálculos de transferencia de calor involucrados en los procesos de transformación y conservación de los alimentos. El calor específico es una medida de la energía requerida para cambiar la temperatura de un alimento por un grado. Por lo tanto, el calor específico de alimentos se puede utilizar para calcular la carga de calor que requiere para someter a un proceso térmico. Nuestro resultado es de 9.8 % mayor al reportado por Anaya, 1999, y va relacionado con el incremento algunos componentes de la composición química como las proteínas, que como se vio en la tabla 2 es mayor a la reportada.

En la tabla 4, se presentan los resultados de la composición química del jengibre en base seca.



Componente Químico	Datos Experimental (%)	Dato Bibliográfico [14] (%)
<b>Humedad</b>		
<b>Proteína</b>		9
<b>Cenizas</b>		1.7
<b>Carbohidratos</b>		71
<b>Fibra</b>		14.1
<b>Lípidos</b>		4.2
<b>Total</b>		1.7

**Tabla 4.** Resultados del Análisis Químico Proximal del jengibre (Base seca).

Componente Químico	Datos Experimental (%)	Dato Bibliográfico (%)
<b>Humedad</b>	67.26	64.85
<b>Proteína</b>	2.81	3.1
<b>Cenizas</b>	0.88	1.7
<b>Carbohidratos</b>	11.07	16.1
<b>Fibra</b>	0.15	0.15
<b>Lípidos</b>	17.8	14.1
<b>Total</b>	99.97	100

Referencia: Borda, 2011 [12]

**Tabla 5.** Resultados del Análisis Químico Proximal del Aderezo de cebolla y jengibre.

En la tabla 5 y 6 se muestran los resultados de la composición química, las propiedades fisicoquímicas y termodinámicas del aderezo de cebolla y jengibre.

	Datos Experimental
<b>pH</b>	3.4
<b>Acidez</b>	0.45
<b>Actividad de agua (Aw)</b>	0.90
<b>Conductividad eléctrica (Ce)</b>	0.2 Ohms
<b>Calor específico (Cp)</b>	3.32KJ/Kg°C

**Tabla 6.** Resultados del Análisis Fisicoquímico y termodinámicos del aderezo de cebolla y jengibre.

En relación a la composición química, los resultados experimentales y los reportados por Borda, 2011 [12], varían de manera significativa en particular en las cenizas donde el valor reportado presenta una diferencia de 48.2 % y los lípidos con una diferencia de 26.2 % en relación en lo reportado. Esta diferencia se puede atribuir a que el producto reportado por Borda, 2011 [12], es de cebolla sin jengibre, y que no se reporta su formulación, por lo que no se conoce que tipo de lípidos se adiciono a esta formulación.

En nuestro producto el incremento de lípidos se puede atribuir a el aceite de oliva, queso crema y mayonesa adicionada para adquirir la consistencia y el sabor deseado.

## CONCLUSIONES

El producto obtenido ofrece al mercado un aderezo que se diferencia en el contenido de nutrientes con respecto a los comerciales, dado que es elaborado con cebolla y jengibre ingredientes con un aporte nutrimental benéficos para la salud por las propiedades funcionales que estos presentan en pos de la prevención de enfermedades.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó en el Laboratorio de Ciencia Básica III, de la carrera de Ingeniería en Alimentos, de la FES-Cuautitlán bajo la asesoría de la M. en C.E. Sandra Margarita Rueda Enríquez y la D. en C. María Elena Pahua Ramos.

## REFERENCIAS

- [1] Gomaa, E. Z. (2017). Antimicrobial, antioxidant and antitumor activities of silver nanoparticles synthesized by Allium cepa extract: A green approach, *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 15, 49-57.
- [2] Salgado, F. (2011). El jengibre (*Zingiber officinale*). *Revista Internacional de Acupuntura*, 5, 167-173.
- [3] Siedentopp, U. (2008). El jengibre, una planta medicinal eficaz como medicamento, especia o infusión, *Revista Internacional de Acupuntura*, 2, 188-192.
- [4] Ma, Y. L., Zhu, D. Y., Thakur, K., Wang, C. H., Wang, H., Ren, Y. F., Zhang, J. G. y Wei, Z. J. (2018). Antioxidant and antibacterial evaluation of polysac-

charides sequentially extracted from onion (*Allium cepa* L.), *International Journal of Biological Macromolecules*, 111, 92-101.

[5] Lawande, K. E. y Peter, K.V. (2012). *Handbook of Herbs and Spices* (Second Edition), Woodhead Publishing, 417-429.

[6] Secretaría de Agricultura, Ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación [SAGARPA]. (2016). Obtenido de :<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/tamaulipas/Boletines/Paginas/2017B052.aspx>

[7] Kuete, V. (2017). *Medicinal Spices and Vegetables from Africa*, Academic Press. 353-361.

[8] Shukla, Y. y Singh, M. (2007). Cancer preventive properties of ginger: A brief review. *Food and Chemical Toxicology*, 45, 683-690.

[9] Kikuzaki, H. (2000). Ginger for drug and spice purposes, Mazza, G. y Oomah, B., "Herbs, Botanicals and Teas", Editorial CRC PRESS, Florida, United States America.

[10] NMX-F-341-S-1979. Aderezo con mayonesa. dressing with mayonnaise. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas, 19. Recuperado de: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/normas/NMX-F-341-S-1979.PDF>

[11] Official methods of analysis of International [A.O.A.C.]. (1998). Arlington Intl. pv (loose-leaf), E. U. Washington.

[12] Borda, M. (2011). *Formulación de una base para aderezo de ensaladas con características de alimento funcional*, Buenos Aires–Argentina.

[13] Perdomo, C. y Barbazán, M. (2002). *Área de suelos y aguas cátedra de fertilidad*, Montevideo: Universidad de la Republica.

[14] Beneficios e Información Nutricional,(2018). Recuperado de: <https://www.vegafinity.com/alimento/jengibre-beneficios-informacion-nutricional-f223>

[15] Friedrich, S. (1991). *Tablas de composición de Alimentos*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.

## COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICO DE YOGUR BATIDO ELABORADO CON FRUCTANOS Y JARABE DE AGAVE

Esperanza Paola Becerril-Hernández, \*Virginia Agustina Delgado-Reyes,  
Verónica Romero-Arreola, María Guadalupe Sosa-Herrera

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

vdr1881@gmail.com

### RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de fructanos de agave en la elaboración de yogur natural batido, así como el uso de jarabe de agave como endulzante, adicionándolo antes o después de llevarse a cabo la fermentación. Se determinó el comportamiento viscoelástico de los yogures elaborados mediante pruebas de cizalla oscilatoria y se compararon con un yogur de referencia elaborado sin fructanos y empleando azúcar como endulzante. El comportamiento viscoelástico de todos los yogures elaborados fue característico de un gel débil, donde predominaron los valores del módulo elástico,  $G'$ , sobre los del módulo viscoso,  $G''$ , en el intervalo de frecuencias estudiado. Los valores más altos del módulo de almacenamiento se obtuvieron a una concentración de fructanos de 3%, mientras que la adición de jarabe de agave favoreció el carácter elástico al adicionarlo antes de la fermentación.

**PALABRAS CLAVE:** yogur, fructanos, jarabe, agave, viscoelasticidad.

### ANTECEDENTES

De todas las bebidas lácteas fermentadas el yogurt es la más popular y conocida en el mundo, caracterizado como un gel suave y viscoso con una consistencia y sabor delicados. El yogurt es un producto fermentado hecho a partir de leche usando microorganismos *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* como cultivos iniciadores. La expansión del mercado del yogurt ha sido en parte por el desarrollo de nuevos ingredientes como saborizantes, edulcorantes, sustitutos de grasa e ingredientes proteínicos que mejoran sus propiedades organolépticas (textura y sabor) así como también aportan beneficios a la salud [1]. El uso de aditivos alimentarios para mejorar las propiedades funcionales y sensoriales en los alimentos ha provocado la búsqueda de nuevas fuentes para la obtención de éstos y que a su vez den las características deseadas por los consumidores, de acuerdo a sus necesidades o demandas debido a los actuales estilos de vida. En su mayoría, los consumidores prefieren aditivos

que provengan de fuentes naturales y orgánicas. Tal es el caso del agave que siendo una planta destinada en su mayoría a la producción de tequila, se ha buscado aprovechar los distintos subproductos que se derivan de él, dándoles otro uso en la industria alimentaria. Uno de estos subproductos son los fructanos que son obtenidos a partir de la cocción de las cabezas de agave, a estas sustancias se les ha atribuido una serie de atributos en beneficio de la salud y la característica de poseer propiedades con funcionalidad tecnológica [2, 3]. Los fructanos de agave son polímeros de fructosa que constituyen los principales carbohidratos de reserva, solo contienen un residuo de glucosa en el extremo reductor de la molécula y en el agave se almacenan en la cabeza de la planta. El contenido de fructosa de estos polímeros varía de acuerdo a su grado de polimerización ( $GP =$  número de monómeros de fructosa, presentes en la molécula) [3]. Los fructanos presentes en el agave tienen un intervalo de grado de polimerización de

3 a 29 con un número importante de enlaces  $\beta$  (2-6) en la molécula de fructosa ramificada, los fructanos de bajo grado de polimerización (3 a 9) se conocen generalmente como fructooligosacáridos (FOS) [4, 2]. Mientras que los fructanos lineales tienden a formar geles, los fructanos ramificados generan disoluciones de baja viscosidad con propiedades de superficie que pueden ser útiles en la aplicación de nuevos productos alimenticios [5]. En la actualidad, la presencia de ciertas cantidades de fructanos de agave en la formulación de un producto alimenticio es una condición suficiente para que dicho producto sea considerado como "alimento funcional" [6]. Otro subproducto del agave es el jarabe, el cual se ha utilizado como edulcorante contribuyendo a modificar el dulzor y la consistencia de los productos [7].

### OBJETIVO(S)

Determinar las propiedades viscoelásticas de yogur natural batido elaborado con diferentes concentraciones de fructanos, así como el efecto del empleo de jarabe de agave como endulzante, adicionado antes o después de la fermentación.

### PARTE EXPERIMENTAL

Se utilizó leche parcialmente descremada, ultra pasteurizada y leche entera en polvo (Alpura), cultivos lácticos liofilizados de inoculación directa (Danisco), fructanos de agave en polvo, FA, y jarabe orgánico de agave hidrolizado, JOA (Mieles Campos Azules). Para la elaboración del yogurt se partió de leche parcialmente descremada, la cual se estandarizó a un contenido de proteína del 4%, en esta etapa se adicionó 5% de azúcar (yogurt de referencia, YR) o 1, 3 y 5% de fructanos de agave (YFR1%, YFR3%, YFR 5%), se dejó fermentar a 42 °C durante 3.5 a 4 horas, hasta que alcanzó una acidez de 40 °D, al término de la fermentación se realizó un mezclado a 400 rpm durante 30 segundos, posteriormente se enfrió, se envasó y refrigeró por 18 horas, almacenándose a una temperatura de 7 °C antes de su análisis. Para estudiar el efecto del jarabe de agave, yogures elaborados con 3% de fructanos se endulzaron con jarabe de agave JOA, adicionándolo en un 5% antes (YAJOA) o después (YDJOA) de llevarse a cabo la fermentación.

La determinación de la acidez en Grados Dornic del yogurt se realizó de acuerdo al método oficial

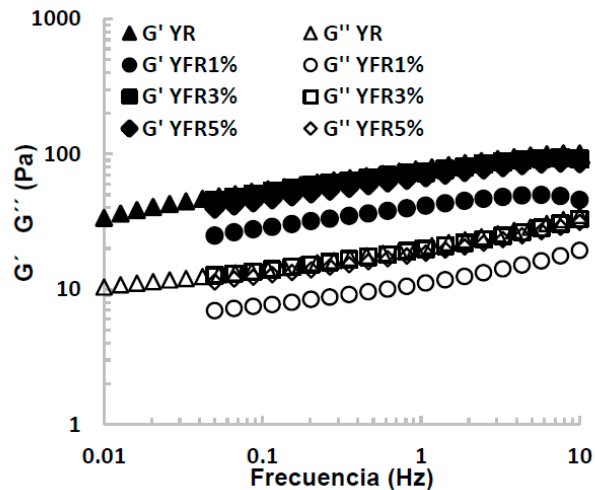
947.05 del AOAC el cual se basa en la acidez titulable de la leche, esta prueba se realizó 5 veces.

Se realizaron pruebas dinámicas en cizalla oscilatoria en un Reómetro MCR 301 (Anton Paar, Austria) de placas paralelas, con el dispositivo PP50 placa rugosa perfilada con un diámetro de 50 mm. La muestra se colocó entre las placas, con un espacio entre ellas de 1 mm, a una temperatura de 10 °C, se realizó un barrido de deformación con un intervalo de 0.1-1% a una frecuencia constante de 1 Hz para identificar la zona viscoelástica lineal. Para todos los yogurts elaborados la zona viscoelástica lineal se encontró a una deformación de 0.2%. Con el valor de la deformación se realizó un barrido de frecuencia en un intervalo de 0.05-10 Hz, determinando la evolución los módulos elástico y viscoso ( $G'$  y  $G''$ ) y en función de la frecuencia.

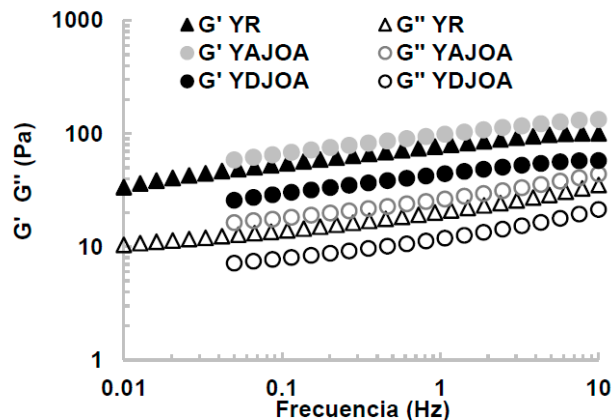
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra el efecto de la concentración de fructanos de agave sobre los módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) en función de la frecuencia en comparación con el yogurt de referencia, (YR). En todas las muestras  $G'$  fue mayor a  $G''$ , ambos módulos dependientes de la frecuencia, comportamiento característico de un gel débil [9]. Tanto los valores de  $G'$  como de  $G''$  fueron similares entre el yogurt de referencia y los elaborados con 3 y 5% de fructanos de agave, a diferencia del yogurt elaborado con 1%, el cual presentó los menores valores para ambos módulos, aunque manteniendo su carácter viscoelástico. Se seleccionó la concentración de 3% de fructanos para determinar el efecto de la adición del jarabe de agave (JOA) como endulzante.

La Figura 2 muestra la comparación entre el yogurt de referencia y aquéllos endulzados con JOA, adicionado antes o después de la fermentación. Se observa que la incorporación del jarabe de agave no cambia el comportamiento de gel débil del yogurt donde  $G'$  es mayor a  $G''$ . Sin embargo, se observa un claro efecto al adicionarlo antes o después de la fermentación, de forma tal que se apreció un aumento de los módulos, en comparación con el yogurt de referencia, cuando el jarabe de agave se adicionó antes de la fermentación, favoreciendo el carácter elástico del sistema; caso contrario cuando la adición se realizó después de la fermentación.



**Figura 1.** Espectro mecánico de yogur elaborado con diferentes concentraciones de fructanos de agave (1, 3, 5%) a 10 °C.



**Figura 2.** Espectro mecánico de yogur elaborado con 3% de fructano de agave y endulzado con 5% de jarabe de agave antes (YAJOA) y después (YDJOA) de la fermentación a 10 °C.

En la Tabla 1 se muestran los valores de  $G'$  y  $G''$  a una frecuencia de 1 Hz de los yogures elaborados con 3% de fructanos de agave y endulzados con jarabe de agave adicionándolo antes (YAJOA) o después (YDJOA) de la fermentación, en comparación con los valores obtenidos para el yogur de referencia.

Muestra	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)
YR	81.90 ± 13.47	21.73 ± 3.26
YA JOA	102.03 ± 8.77	27.5 ± 2.51
YD JOA	45.60 ± 4.64	12.80 ± 1.08

**Tabla 1.** Módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y módulo de pérdida ( $G''$ ) promedio a frecuencia de 1 Hz del yogur de referencia (YR) con jarabe de agave (JOA) adicionado antes (YA) y después (YD) de la fermentación.

Con base en los valores presentados en la Tabla 1, y tomando al yogur de referencia (YR) como comparación, el utilizar el jarabe de agave (JOA) antes de la fermentación produjo un aumento de aproximadamente 20% de ambos módulos, mientras que el adicionarlo después generó una reducción de ambos módulos de alrededor del 40%, teniendo así un mayor impacto. El hecho de que la magnitud de los módulos se incrementara en la misma proporción implica que el efecto es más sobre la consistencia del yogur y no sobre su carácter viscoelástico.

## CONCLUSIONES

La adición de FA a concentraciones de 3 y 5% en la elaboración de yogur favoreció la formación de la red tridimensional propia de un gel débil, asimismo al adicionar como endulzante el JOA antes de la fermentación, promovió el incremento de la consistencia del yogur, en un 20%, aproximadamente. Agradecimientos

Al Programa Interno para Proyectos de Investigación, PIAPI por el apoyo financiero otorgado al proyecto "Propiedades reológicas y funcionales en alimentos".

## REFERENCIAS

- [1] De Oliveira, M. (2014). Fermented milks and yogurt, *Encyclopedia of Food Microbiology*, 2nd ed., (C.A. Batt, M.S Tortorello, eds.), Elsevier, USA.
- [2] Espinosa, R. y Ortiz, R. (2013). Estabilidad térmica del grado de polimerización y cuantificación parcial de azúcares en fructanos de agave tequilana, obtenidos por ultrafiltración. *Ciencias Agropecuarias Handbook* (M. Ramos, V. Aguilera eds), ECORFAN, México
- [3] Montañez-Soto, J., Venegas-González, J., Viver-Vera, M., y Ramos-Ramírez, E. (2011). Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del Agave tequilana Weber azul. *Bioagro*, 23(3), 199-206.
- [4] Avila-Fernández, A., Galicia-Lagunas, N., Rodríguez-Alegría, M.E., Olvera, C. y López-Munguía, A. (2011). *Food Chemistry*, 29, 380-386
- [5] Sosa-Herrera, M.G. y Delgado Reyes, V.A. (2017). *Propiedades funcionales y aplicaciones tecnológicas de fructanos. Alimentos Funcionales de Hoy*. Omnia Science. España.
- [6] Fuentes-Berrio, L., Acevedo-Correa, D., y Gelvez-Ordoñez, V.M. (2015). *Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 140-149.
- [7] Mellado-Mojica, E., López-Pérez, M.G. (2013). Análisis comparativo entre jarabe de agave azul (agave tequilana weber var. azul) y otros jarabes naturales. *Agrociencia*, 47, 233-244.
- [8] AOAC. (2000). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. USA.
- [9] Clark, A.H., y Ross-Murphy, S.B. (1987). Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Advances in Polymer Science*, 83, 57-192.

## APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DEL FRUTO DEL CAFÉ Y CARACTERIZACIÓN DE SUS POLIFENOLES POR ESPECTROFOTOMETRÍA Y ELECTROFORESIS CAPILAR

Carlos Daniel Mayorga Nieto<sup>1</sup>, María Gabriela Vargas Martínez<sup>2</sup>, María Andrea Trejo Márquez<sup>1</sup>,  
David Rodrigo López Soto<sup>1</sup>, Selene Pascual Bustamante<sup>1</sup>

Facultad Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,  
<sup>1</sup>Laboratorio de Postcosecha de Frutos y Hortalizas, <sup>2</sup>Laboratorio de Desarrollo de Métodos Analíticos

[andreatrejo2009@gmail.com](mailto:andreatrejo2009@gmail.com), [gvargasm@unam.mx](mailto:gvargasm@unam.mx)

### RESUMEN

En la industrialización del café se estima que sólo el 5 % de la biomasa generada se utiliza en la elaboración de la bebida mientras que el porcentaje restante son residuos o subproductos. La materia prima que se utilizó fue la cascarilla (epicarpio) del fruto del café. Se realizaron extracciones a partir de cascarilla utilizando dos métodos de lixiviación: a) infusión y b) percolado. A las bebidas extraídas por lixiviación se realizó una evaluación del I) contenido de fenoles totales, II) actividad antioxidante y III) la identificación y cuantificación de la cafeína y del ácido clorogénico por electroforesis capilar (EC). La temperatura fue un factor importante en la obtención de los compuestos fenólicos, antioxidantes, contenido de ácido clorogénico y cafeína, siendo significativamente mayor a 90°C. Se confirmó con los métodos utilizados que el método que extrae mejor los componentes de interés es la infusión.

**PALABRAS CLAVE:** Café, subproductos, polifenoles, actividad antioxidante, cafeína, electroforesis capilar.

### ANTECEDENTES

El café o cafeto pertenece a la familia de las rubiáceas, en la que se incluyen más de 500 géneros y alrededor de 800 especies. De todas las especies, solamente se cultivan 10, y dos de ellas han sido descritas como las más importantes por corresponder a más del 90 % de la producción mundial: *Coffea arabica* y *Coffea canephora* conocida comúnmente como variedad robusta. Los cafetos producen frutos rojos, llamados cerezas de café (ver Figura 1), con dos núcleos que contienen cada uno un grano o semilla de café de color verde, también llamamos café a una de las bebidas de mayor consumo en el mundo, que se realiza mediante una infusión de los granos tostados y molidos del árbol del cafeto [1].

En la industrialización del café se estima que sólo el 5 % de la biomasa generada se utiliza en la elaboración de la bebida mientras que el porcentaje restante son residuos o subproductos tales como hojas, ramas, tallos, frutos verdes, cascara y pulpa. Estos residuos pueden

ocasionar contaminación en agua, aire y suelo [2].

En los últimos años han aumentado las propuestas tecnológicas de productos alimenticios con características fisiológicamente funcionales aprovechando los subproductos de la industria agroalimentaria. Diferentes investigaciones sugieren el empleo de los subproductos del café y su composición, ya que han demostrado una respuesta en la reducción de enfermedades crónicas y neurodegenerativas como el Alzheimer y el Parkinson [2]. Este efecto se debe a la presencia de compuestos con propiedades antioxidantes, éstos evitan que se produzcan daños tisulares por radicales libres, al reducir su formación o eliminarlos una vez originados.

La tisana es la bebida que se consigue al hervir determinadas combinaciones de hierbas o especias en agua, o también se refiere a frutas secas o deshidratadas y cortezas. Difieren de las infusiones en que estas últimas utilizan temperaturas sin llegar al hervor. Ambas son bebidas asociadas a la presencia

de polifenoles; este grupo de compuestos reportan múltiples efectos biológicos, tales como una gran actividad antioxidante [3].

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivos determinar los fenoles totales y la capacidad antioxidante de la cascarilla de café por espectrofotometría, así como identificar y cuantificar los polifenoles contenidos en estas muestras por EC, ambas técnicas utilizando dos métodos de extracción: a) infusión y b) percolado. Lo anterior con la finalidad de generar una propuesta tecnológica (tisana) para el aprovechamiento de los residuos obtenidos durante la producción del café (cascarilla) para dar una alternativa al productor que como consecuencia reduzca las pérdidas económicas, así como el impacto ambiental y social referente a la salud de los consumidores al desarrollar una bebida funcional.

## OBJETIVO

Caracterizar los compuestos fenólicos y cafeína presentes en la cascarilla de café utilizando diferentes métodos de lixiviación, temperaturas y disolventes utilizando varias técnicas analíticas como son la espectrofotometría y la electroforesis capilar. Lo anterior con la finalidad de proponer la formulación de una tisana a partir de la cascarilla del fruto de café, brindando una propuesta tecnológica de aprovechamiento integral para reducir las pérdidas económicas, el impacto ambiental, además de beneficiar en la salud del consumidor.

## PARTE EXPERIMENTAL

**Material Biológico:** La materia prima que se utilizó para el presente trabajo fue la cascarilla (epicarpio) del fruto del café procedente del estado de Nayarit. Una vez obtenida se procedió a reducir el tamaño de partícula empleando un molino de café marca Hamilton Beach. Una vez molida la cáscara se homogeneizó el tamaño de partícula a un promedio de 1 mm y así favorecer la extracción para su posterior análisis. Obtención de los extractos a partir de la cascarilla de café:

a) Para el método de infusión, se utilizó una relación de 1:12 soluto: solvente, es decir 8.33 g de muestra en 100 ml de agua a diferentes temperaturas (70, 80, 90 °C). La muestra se pesó dentro de unos sobres hechos con porta-filtros de una cafetera, y se sumergieron los sobres con muestra en el agua caliente

durante 10 minutos. Posteriormente se dejó enfriar y se hizo la cuantificación de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, ácido clorogénico y cafeína.

b) En el método de percolado se utilizó la relación 1:12, 8.33 g de muestra se pesaron en porta-filtros de una cafetera, en una base simulando una cafetera y se vertieron por la parte superior 100 ml de agua a diferentes temperaturas (70, 80, 90 °C), atravesando el lecho de solutos. Posteriormente se dejó enfriar y se hizo la cuantificación de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante, ácido clorogénico y cafeína.

**Método 1:** Evaluación del contenido de Fenoles Totales: Se utilizó el método de Folin-Ciocalteu (FC) [5].

**Método 2:** Evaluación de la actividad antioxidante: Por medio del radical ABTS•+ [6].

**Método 3:** Determinación de ácido clorogénico y cafeína: Se utilizó un equipo de (EC) Electroforesis Capilar /ACE MDQ, Beckman Coulter (Fullerton, CA, USA). Las mediciones se realizaron utilizando capilares de sílice fundida de 50 µm de diámetro interno, 54 cm de longitud total y 43.5 cm de longitud efectiva, la detección se realizó a 200 nm, a un voltaje aplicado de 26.8 KV. Las corrientes obtenidas fueron alrededor de 80 µA. El buffer de corrida o separación, consistió en un buffer de boratos 50 mM (a partir de tetraborato de sodio) y como disolvente agua desionizada a pH 9.4.

**Tratamiento estadístico:** Se aplicó un análisis de varianza ANOVA y comparación de medias aplicando un nivel de significancia del 5% por el programa estadístico IBM SPSS y/o Statgraphics Centurion XVI.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de los métodos 1 y 2 para la selección de las mejores condiciones de extracción de las cascariillas de café: Para determinar el método de preparación de la tisana con el cual se extrae un mayor contenido de compuestos fenólicos así como mayor actividad antioxidante, se procedió a evaluar dos métodos de lixiviación, en donde se determinó el efecto de la temperatura (70, 80, 90° C) y los métodos de lixiviación a) infusión, b) percolado, seleccionando el que presente las mayores concentraciones en los compuestos de interés.

En la figura 1 se observa que no existe diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la concentración de fenoles totales obtenida de los extractos obtenidos por infusión a las tres diferentes temperaturas; sin embargo, en la figura



2 si hay una diferencia significativa aumentando la capacidad antioxidante al realizar la extracción a 90°C.

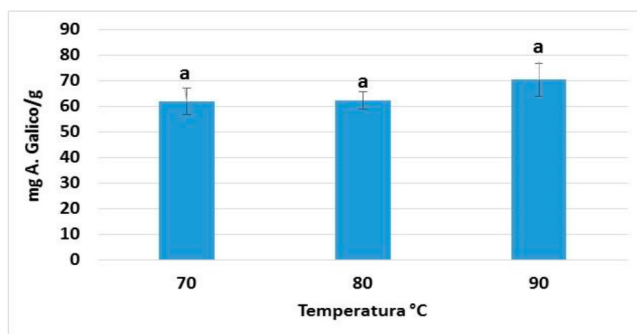


Figura 1. Contenido de fenoles totales por el método a).

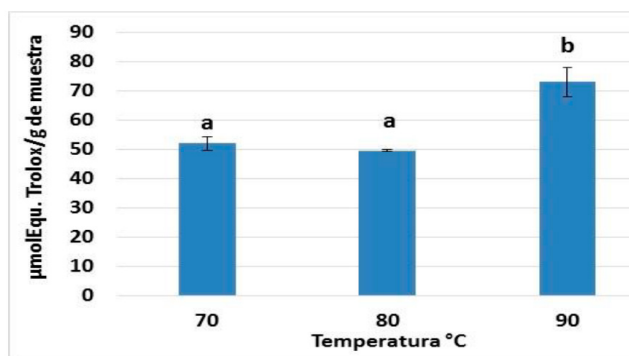


Figura 2. Actividad antioxidante por el método a).

El efecto que tiene la temperatura en la extracción por infusión muestra que los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante aumentan conforme se incrementa la temperatura, esto ayuda a concentrar significativamente los compuestos solubles como los fenoles y cafeína, como consecuencia, la actividad antioxidante aumenta.

En el caso de los extractos obtenidos por percolado, no se observa diferencia significativa en la figura 3 ( $p \geq 0.05$ ) en el contenido de fenoles por efecto de la temperatura, mientras que en la figura 4, la actividad antioxidante si aumenta de forma significativa a temperaturas mayores de 80°C.

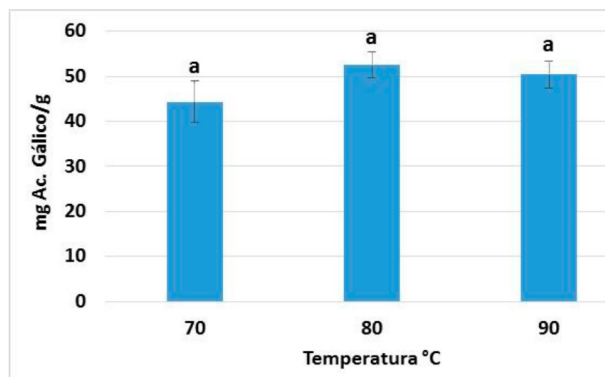


Figura 3. Contenido de fenoles totales por el método b).

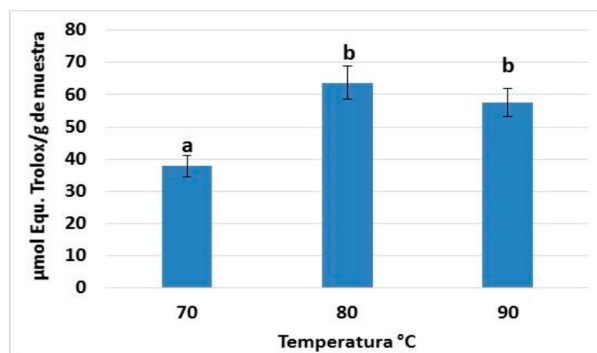


Figura 4. Contenido de fenoles totales por el método b).

Sin embargo, la infusión preparada a 90°C presentó alrededor de 30% más capacidad antioxidante (73.02 µmol ET/ g de muestra) con evidentes diferencias significativas que la preparada por percolado a las mismas condiciones.

La capacidad antioxidante está relacionada con el contenido de fenoles, lo cual se observa en los resultados presentados observando que en ambos casos mientras mayor sea la temperatura de extracción mayor será la concentración de dichos compuestos, mostrando que aplicar calor en la extracción favorece la transferencia de estos compuestos. Evaluación del método No. 3, para la selección de las mejores condiciones de extracción de las cascarrillas de café.

Inicialmente se midieron los estándares de ácido clorogénico y ácido cafeico por el método EC los cuales se muestran en la Figura 5.

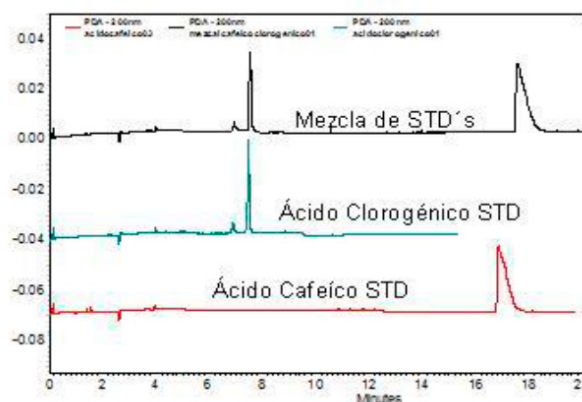


Figura 5. Electroferogramas de estándares.

Como se puede observar en la Figura 6, usando el método No. 3, existe diferencia significativa en el contenido de ácido clorogénico el cual es mayor al utilizar la infusión como método de extracción, además de que es evidente que su extracción aumenta con la temperatura, teniendo el mayor contenido a 90°C. Lo anterior concuerda y confirma los resultados obtenidos a las mismas condiciones con los métodos 1 y 2.

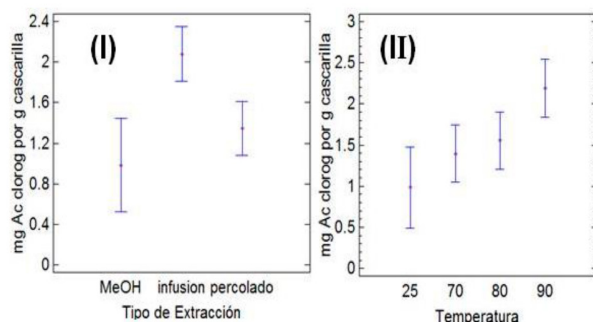


Figura 6. Contenido de ácido clorogénico influenciado. por I) método de extracción y II) la temperatura (°C)

Por otro lado, se observa en la figura 7 que la extracción de cafeína solo aumenta de forma significativa al realizarse a 90°C, pero se pueden considerar iguales los tipos de extracción utilizados, ya que no se observan diferencias.

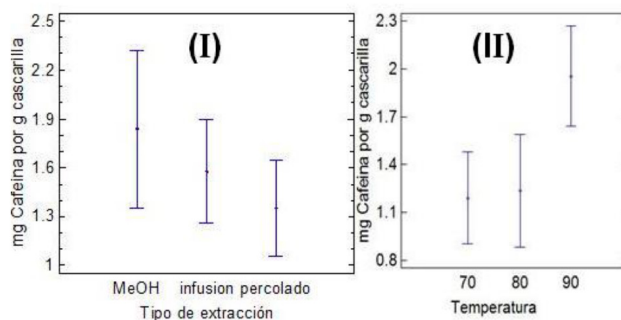


Figura 7. Contenido de cafeína influenciado por I) método de extracción y II) la temperatura (°C).

## CONCLUSIONES

La temperatura fue un factor importante en la obtención de los compuestos fenólicos, antioxidantes, contenido de ácido clorogénico y cafeína, siendo significativamente mayor a 90°C. El método de extracción fue un factor importante a considerar, confirmándose tanto con medidas de fenoles totales, capacidad antioxidante y las mediciones de ácido clorogénico y cafeína que el método que extrae de mejor forma los componentes de interés es la infusión.

La cascavilla de café es un residuo que aún posee cualidades las cuales se pueden extraer compuestos fenólicos y/o antioxidantes benéficos para la salud por la presencia de los compuestos que tienen esta propiedad como los polifenoles, por lo que su utilización en el desarrollo de nuevos productos es una alternativa de uso a este desecho generado en la producción del café.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el proyecto Desarrollo tecnológico para el aprovechamiento integral de frutas y hortalizas (PAPIIT IT201216) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

## REFERENCIAS

- [1] Antiasarán, A.I., Martínez-Hernández, J.A., Muñoz M. (2000). Alimentos: composición y propiedades, McGraw-Hill, España.
- [2] Fonseca, L., Calderón, L., Rivera, M. (2014). Capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales en café y subproductos del café producido y comercializado en norte de Santander (Colombia).
- [3] Agüero, M., Segura, C., Parra, J. (2014). Revista UNICIENCIA. 28.1. 34-42.
- [4] Gatea, F., Teodor, E.D., Matei, A.O. (2015). Food Anal. Methods 8. 1197. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-0006-5>
- [5] Singleton, V., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. (1999). Reagent Methods in Enzymology, 299. 152-179.
- [6] Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A. Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999). Free Radic. Biol. Med. 26(9-10) 1231-1237.

## CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS QUÍMICOS DE SEMILLA DE GUAYABA MEXICANA PARA GENERAR ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS DE APROVECHAMIENTO COMO INGREDIENTES FUNCIONALES EN ALIMENTOS.

Yolanda Herrera Trujillo, Ma. Andrea Trejo Márquez,  
Selene Pascual Bustamante, David Rodrigo López Soto, Alma Adela Lira Vargas

Facultad Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Laboratorio de Postcosecha de Frutos y Hortalizas

[andreatrejo2009@gmail.com](mailto:andreatrejo2009@gmail.com)

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las semillas de guayaba mexicana (*Psidium guajava*) evaluando su composición química, solubilidad de proteínas y capacidad antimicrobiana para generar propuestas de aprovechamiento como ingrediente en el desarrollo de alimentos funcionales. Se emplearon guayabas maduras, a las cuales se les retiró la semilla que posteriormente fueron secadas a 60°C por 48h, se molieron a dos tamaños de partícula <800 micras y >800 micras, se evaluó la composición química, además de evaluar las fracciones proteicas presentes, del mismo modo se obtuvieron extractos etanólicos de los cuales se determinó su potencial como agentes inhibitorios de bacterias (*Escherichia coli* y *Salmonella typhi*). Los resultados obtenidos muestran que el componente mayoritario en la semilla fue la fibra con un 50% como fibra dietética, mientras que el contenido de lípidos fue de alrededor del 12%, y las proteínas de 3%, de este componente la fracción mayoritaria son glutelinas, las cuales se consideran proteínas de reserva. Los extractos de semilla de guayaba no presentaron capacidad antibacteriana. Por lo que se concluye que la semilla es una buena fuente de compuestos funcionales no así para el uso como bactericida.

**PALABRAS CLAVE:** Aprovechamiento, actividad antimicrobiana, fibra dietética, aminoácidos y proteínas

### ANTECEDENTES

La guayaba (*Psidium guajava*) es una fruta que se encuentra ampliamente distribuida a través de toda América tropical (desde México hasta Brasil), así como en parte de Asia y África (Sudáfrica, India, Argelia, Túnez), en los pisos térmicos templado y cálidos [17].

La guayaba es un fruto de forma globosa, ovoide o piriforme, de color amarillo-verdoso en su exterior o amarillo claro en plena madurez. El fruto es muy rico en fibra del tipo pectina, con propiedades para prevenir el cáncer digestivo. Contiene polifenoles, antocianinas y flavonoides y 183 mg por 100 g de vitamina C [21]. Los extractos hidroalcohólicos de la planta de guayaba presentan actividad biológica contra bacterias de tipo Gram negativas como:

*E. coli*, *Salmonella typhimurium* y *Pseudomonas aeruginosa* [9, 16, 26]. La pulpa es de color blanco amarillento, rosado o rojo, con sabor dulce o ácido y aromático, las semillas son numerosas, amarillas y producen bacterias ácido-lácticas, extractos y metabolitos, que sirven para controlar diversos microorganismos no deseados, lo que alarga la vida útil de los alimentos [6].

En 2015, las exportaciones en México de este fruto alcanzaron los 14 millones 694 mil dólares, además de que es el quinto productor mundial de este fruto y en el último trienio aumentó 8.2 por ciento la producción de guayaba, se incrementó de 216 mil 649 toneladas en 2015 a más de 224 mil reportadas en los primeros 10 meses de 2016, y en México se produce en 18 estados de la república, estos son: Aguascalientes, Baja California Sur, Colima, Chiapas, Durango, Guanajuato,

Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Querétaro, Tabasco, Veracruz y Zacatecas [23].

Con el desarrollo de la agroindustria se han encontrado muchos productos que se pueden elaborar de este fruto, entre los cuales podemos mencionar: néctares, mermeladas, jaleas, nieves, gelatinas, concentrado que es la base para la industria de la panadería y dulcerías entre otros más, pero cabe señalar que de la transformación de la guayaba se obtienen hasta 120 kilogramos de semillas por tonelada de fruta procesada la cual es desechada sin darle ningún valor [6]. Siendo uno de los problemas con los que se enfrenta la industria alimentaria pues los desperdicios generados durante el procesamiento de productos representan una fuente de contaminación.

Existen trabajos de investigación en los cuales se busca darle un uso a este residuo y convertirlo en subproducto [8] proponen que la harina de la molienda de la semilla de guayaba se utilice en la preparación de galletas sustituyendo parte de la harina de trigo; mientras que otros autores estudiaron el aceite de la semilla [4] y su utilidad en la elaboración de jabones, productos de baño y productos de belleza. Por otra parte, se ha encontrado que la fibra de la semilla de guayaba es una fuente de fibra dietaria con actividad antioxidante [13]. También se ha reportado [3] una caracterización bioquímica de la proteína de la semilla y sus características funcionales [28] reportan el perfil de ácidos grasos de la semilla de guayaba e indican que es una buena fuente de ácido linoléico, ya que es el ácido graso que se encuentra en mayor cantidad (80.5%) en la semilla y Soria [25] realizaron la determinación de proteínas de reserva en semillas de selecciones de guayaba (*Psidium guajava* L.) y evaluaron las fracciones de proteínas con base en su peso molecular. Pese a que ya se han realizado las investigaciones antes mencionadas, existen múltiples factores que pueden inferir en los resultados de dichos trabajos, tales como el lugar donde se desarrolla la especie, la variedad, el estado fisiológico del fruto, el tratamiento de la muestra y las técnicas empleadas, por citar algunos, los cuales ocasionan que no haya una estandarización de las propiedades de la semilla de guayaba y según éstas una aplicación idónea, por lo cual el objetivo de esta investigación es caracterizar las semillas de guayaba mexicana (*Psidium guajava*) evaluando su composición química, solubilidad de proteínas, fibra dietética y

capacidad antimicrobiana para generar propuestas de aprovechamiento como ingrediente en el desarrollo de alimentos funcionales.

## OBJETIVO

Caracterización de las semillas de guayaba evaluando su composición química, así como los compuestos presentes en sus fracciones mayoritarias, que permita generar alternativas de uso en el desarrollo de alimentos funcionales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Material biológico:** Para realizar la simulación de los residuos que se obtienen de la industria alimentaria, los frutos de guayaba (*Psidium guajava*) fueron adquiridos en el mercado local de Cuautitlán Izcalli en el Estado de México, los frutos fueron seleccionados eliminando aquellos que presentaran daños mecánicos, y seleccionando los que se encontraban en estado maduro para posteriormente ser lavados y desinfectados, después se cortaron por la mitad, se extrajeron las semillas separándolas de la pulpa.

**Tratamiento de la muestra:** Las semillas se homogenizaron con licuadora para facilitar la separación de éstas con la pulpa residual que pudieran presentar, posteriormente se lavaron con agua hasta retirar el exceso de la misma, fueron secadas a 60°C por 48 horas y se pulverizaron hasta obtener un material con apariencia homogénea con un tamaño menor a 800 micras (Tamiz #20).

**Evaluación de la composición química:** Una vez que se tuvieron las semillas molidas y secas se procedió a evaluar la composición química de las mismas determinando: Extracto etéreo por el método de Soxhlet, Nitrógeno total, Humedad [24], Fibra cruda, Fibra dietética, Cenizas [1] y Carbohidratos por diferencia.

Fraccionamiento y caracterización parcial de la proteína: Una vez establecida la composición se evaluaron los componentes de los macronutrientes presentes en la semilla de guayaba, en primer lugar se realizó un fraccionamiento de las proteínas presentes con la ayuda del método establecido por Osborne [20] debido a que este método de separación es relativamente simple y a menudo es muy usado como una etapa de separación inicial

para obtener fracciones semipuras de proteína [11]. Una vez obtenidas las fracciones se procedió a la cuantificación la cual se realizó mediante el método establecido por Lowry [14]

### Pruebas in vitro de extractos de semilla de guayaba:

Se obtuvo un extracto de la semilla de guayaba por diferentes métodos, evaluando su actividad antibacteriana por medio de pruebas de sensibilidad antimicrobiana en *Escherichia coli* y *Salmonella typhi* que permitió establecer su aplicación tecnológica en la industria de alimentos.

### Obtención del extracto:

#### Extracción Asistida por Ultrasonido

Para la obtención de los extractos fenólicos de la semilla de guayaba se colocó la muestra en contacto con la solución extractora, que en este caso fue una mezcla etanol agua en una relación 1:1, posteriormente se realizó la extracción ultrasónica en un baño de ultrasonido por 30 y 60 minutos, una vez terminado el tiempo se procedió a filtrar la muestra para recuperar el sobrenadante obtenido en una probeta y finalmente se almacenó en un frasco ámbar a  $-4^{\circ}\text{C}$ .

#### Extracción por Maceración en Frío

Para la extracción por el método de maceración en frío se colocó la con la solución extractora etanol:agua en una relación 1:1 y posteriormente se dejó el soluto macerando en el disolvente, se extrajeron 2 mL de la muestra cada 3, 12 y 24 horas.

A los extractos obtenidos por ambos métodos se les cuantifico el contenido de fenoles totales [10] para conocer la concentración de estos y aplicarlos en el desarrollo de las prueba in vitro.

### Pruebas In-vitro:

Fue necesario realizar una siembra de las bacterias *Escherichia coli* y *Salmonella typhi* para la activación de las cepas. Una vez activos los microorganismos se procedió a realizar las pruebas, en donde se colocó al centro de la caja un acrodisco en el cual se depositaron diversas concentraciones de extracto etanolico de semilla de guayaba las cuales fueron 50, 100 y  $150\mu\text{L}$ , para posteriormente evaluar el efecto del extracto sobre el desarrollo de las bacterias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de la composición química de las semillas de guayaba

Los resultados obtenidos de la evaluación de la composición química de la semilla de guayaba se presentan en la tabla 1.

	BASE SECA	BASE HUMEDA
<b>CARBOHIDRATOS (%)</b>	17.92	17.29
<b>FIBRA (%)</b>	63.58±1.95	61.43±1.88
<b>FIBRA DIETETICA (%)</b>	---	50.20±0.46
<b>LÍPIDOS (%)</b>	13.35±0.10	12.90±0.10
<b>PROTEÍNA (%)</b>	3.72±0.22	3.60±0.21
<b>HUMEDAD (%)</b>	---	3.39±0.00
<b>CENIZAS (%)</b>	1.43±0.08	1.39±0.08

Tabla 1. Composición química de la semilla de guayaba

La semilla de guayaba presenta un alto contenido de fibra dentro de su composición representando más del 50% de su composición, esto es normal ya que al tratarse de una semilla, requiere presentar una estructura resistente, el segundo componente en mayor presencia son los carbohidratos, esto es normal debido a que en semillas son importantes estos compuestos pues serán los que proporcionaran la energía necesaria para el crecimiento y desarrollo de la planta. También la semilla de guayaba presenta una buena cantidad de lípidos alrededor de 12.9%, brindándole la oportunidad de ser una fuente de este tipo de compuestos los resultados obtenidos son similares a los reportados por Bernardino [3] donde señalan que las semillas contienen una concentración del 12% de grasa, 1% de cenizas, 68% de fibra cruda, 6% de carbohidratos y 8% de proteína; y los resultados de Vasco [28] que reportan que la semilla de guayaba es aproximadamente 80% de fibra, 11% de aceite, 9% de proteína y 1.5% de cenizas.

El contenido de macronutrientes es afectado por factores genéticos relacionados con la especie y variedades o poblaciones nativas, el estado de madurez del fruto, prácticas agrícolas de manejo (orgánico o convencional), el ambiente de crecimiento de la planta, incluyendo los métodos de cuantificación de estas propiedades [7], a consecuencia de esto, pueden existir variaciones del contenido de algún nutriente entre variedades de guayaba.

Del mismo modo se evaluó el contenido de fibra dietética en donde se observa un contenido alrededor del 50% de la composición. La semilla de guayaba es básicamente fibra y por lo que señala el resultado anterior es una fuente importante de fibra dietética recordando que este tipo de fibra es de suma importancia en la dieta porque promueven efectos beneficiosos fisiológicos como laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol y la glucosa en sangre [2]

El resultado obtenido es similar a lo reportado en diversos trabajos [3,13] donde se considera que la fibra dietética de la semilla de guayaba es antioxidante y podría ser incluida en alimentos para así aumentar la porción de fibra en la dieta.

### Evaluación de la fracción proteica presente en las semillas de guayaba.

Una vez establecida la composición química de la semilla de guayaba, se procedió a evaluar de la proteína contenida en la semilla, que fracciones estaban presentes, los resultados se muestran en la tabla 2.

	mg/g
<b>GLUTELINAS</b>	566±80.09
<b>GLOBULINAS</b>	192±13.02
<b>PROLAMINAS</b>	135±25.43
<b>ALBÚMINAS</b>	107±10.54

**Tabla 2.** Fracciones proteicas presentes en las proteínas de la semilla de guayaba.

Las glutelinas [25] constituyen la fracción mayoritaria de las proteínas de reserva en semillas de selecciones de guayaba (*Psidium guajava* L.), lo que concuerda con los resultados obtenidos esta investigación.

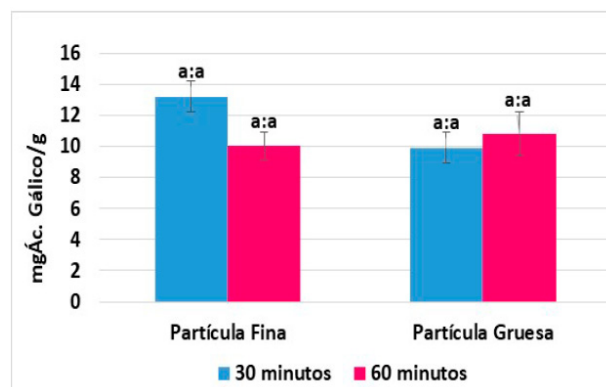
La principal importancia de extraer varios compuestos bioquímicos como lo son las proteínas solubles, reside en el hecho de que pueden ser recuperadas de este subproducto y utilizadas en la alimentación humana o animal.

Cabe destacar que las glutelinas son el tipo de proteínas que más se encuentra en cereales, ya que son las que representan a las proteínas de reserva. Las proteínas de reserva en embriones y células vegetativas de plantas, son sintetizadas durante el desarrollo de la se-

milla e hidrolizadas durante la maduración, imbibición y germinación de éstas, proporcionado de las principales fuentes de carbono, nitrógeno y azufre para el subsiguiente crecimiento y desarrollo. Estas proteínas de reserva en células vegetativas proporcionan una base para las semillas y frutos durante el crecimiento reproductivo y para una rápida expansión de las estructuras vegetativas después del periodo de dormancia, durante la germinación.

### Evaluación del contenido de fenoles en los extractos obtenidos de la semilla de guayaba

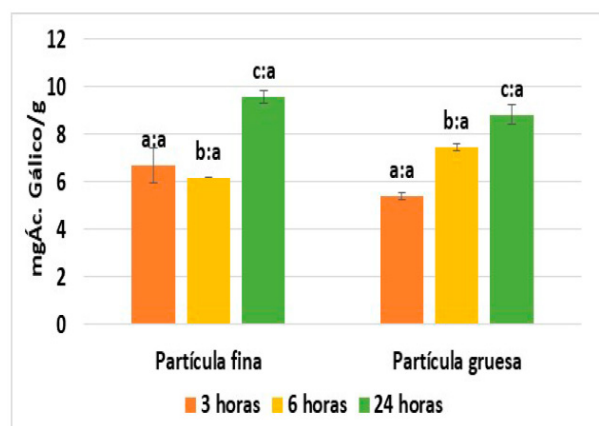
Dentro de las semillas es común encontrar compuestos fenólicos, actualmente se ha observado que estos compuestos tienen diversas actividades, como es el que puedan funcionar como agentes antibacterianos. De ahí la importancia que se ha venido dando a través de los años. En la figura 1 se presentan los resultados obtenidos, en la cuantificación de fenoles de los extractos de semilla de guayaba.



**Figura 1.** Contenido de fenoles en la semilla de guayaba en muestra con partícula fina (<800 micras) y con partícula gruesa (>800 micras) obtenidos por ultrasonido a 30 y 60 minutos. La primera letra representa diferencia significativa por tiempo de extracción la segunda letra representa diferencia por tamaño de partícula.

En la figura del contenido de fenoles se puede apreciar que no hay diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) respecto al tamaño de partícula, del mismo modo no se presenta efecto por parte del tiempo de residencia en el ultrasonido, sin embargo el extracto obtenido con un tamaño de partícula fino con 30 min de extracción fue el que presentó mayor concentración de fenoles con 13.24 mg Ac. Gálico/g de muestra, seguido de la muestra sometida por 60 minutos y partícula fina con 10.06 mg Ac. Gálico/g, posteriormente la muestra de partícula gruesa a 30 minutos con un contenido de 9.90 mg Ác. Gálico/g. Cabe señalar que en partícula fina se tiene mayor contenido de fenoles porque al reducir el tamaño se amplía la superficie de contacto permitiendo que la solución extractora etanol: agua 50:50 tenga mayor contacto con la muestra y así una mejor extracción de los fenoles.

Se ha encontrado en la literatura que el contenido de fenoles en guayaba regional blanca de Colombia extraída por ultrasonido es de 198.62 mg Ác. Gálico/g en el estado inmaduro pero a condiciones de proporción masa de fruta-etanol de 1:10 con un tiempo de 30 minutos y una temperatura de 50 °C [19]



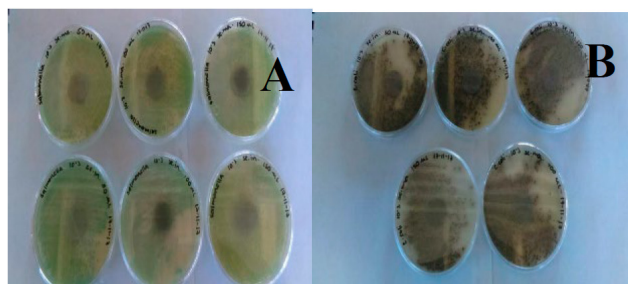
**Figura 2.** Contenido de fenoles en los extractos de la semilla de guayaba en muestra con partícula fina (<800 micras) y con partícula gruesa (>800 micras) obtenidos por maceración en frío. La primera letra representa diferencia significativa por tiempo de extracción la segunda letra representa diferencia por tamaño de partícula.

En la figura 2 se muestra el contenido de fenoles en el extracto de semillas de guayaba obtenido por maceración en frío en donde se puede apreciar que no hay diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre las muestras con respecto al tamaño de partícula, sin embargo, si presenta diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al tiempo que estuvieron sometidas las muestras con las soluciones extractoras. Las muestras que tienen un mayor contenido de fenoles es en ambos casos son las muestras sometidas por 24 horas con 9.56 mg Ác. Gálico/g en partícula fina y 8.82 mg Ác. Gálico/g en partícula gruesa, seguido de la muestra sometida por 6 horas con 7.44 mg Ác. Gálico/g en partícula gruesa y en partícula fina con 6.18 mg Ác. Gálico/g, posteriormente la muestra de partícula gruesa a 3 horas con un contenido de 5.40 mg Ác. Gálico/g y finalmente la muestra con partícula fina a 3 horas con un 6.69 mg Ác. Gálico/g.

En la literatura no se han reportado datos del contenido de fenoles de las semillas de guayaba por maceración en frío, pero se ha encontrado el dato de que las hojas de guayabo fenológicamente jóvenes presentaron mayor contenido de fenoles totales (9.071,46 mg AG/100 g de muestra seca) [22].

### Pruebas de sensibilidad antimicrobiana

Se realizó la identificación de las sepas de *E. coli* y *Salmonella typhi* en un agar específico (agar cromo) en la cual este se tiñó de negro cuando hubo presencia de la bacteria *E. coli* y en verde cuando fue *Salmonella typhi*, con la finalidad de tener la certeza de que si fueran las bacterias puras.



**Figura 3.** Prueba de sensibilidad antimicrobiana del extracto de semilla en el estado maduro e inmaduro de guayaba frente a *Salmonella typhi* (A) y *E. coli* (B), con diferentes concentraciones 50, 100 y 150 µL.



En la figura 3 se muestra el poder inhibitorio de los extractos de semilla de guayaba sobre la inhibición de *Salmonella typhi* (A) y *E. coli* (B), en donde se observa que los extractos no fueron efectivos en la inhibición de estas bacterias lo cual puede atribuirse a los siguientes factores:

Cuando una planta se desarrolla en ambientes silvestres en donde carece de nutrientes para crecer o de protección ante depredadores, le es necesario desarrollar compuestos que le permitan adaptarse al medio que se encuentra tales son los compuestos fenólicos y los flavonoides. Cuando el origen de la planta es un medio en el cual se tiene mayor cuidado para su crecimiento, la planta contiene en menor proporción este tipo de compuestos, y si a su vez aunamos que esta está contaminada por algún microorganismo, el contenido de estos compuestos disminuye aún más, pues la planta los ha utilizado para defenderse de los mismos. La segunda atribución es a los ácidos grasos que comprenden la parte lipídica de la semilla de guayaba.

*Escherichia coli* utiliza ácidos grasos como fuente de carbono de bajo estatus, ya que prefiere la utilización de sustratos más simples como glucosa antes de utilizar el ácido graso para su crecimiento [12].

Diversos estudios han demostrado que *Escherichia coli* es capaz de crecer en ácidos grasos de cadena larga como única fuente de carbono [15], luego de una fase de adaptación o lag. Sin embargo, células pre-adaptadas con ácidos grasos de cadena larga crecen inmediatamente en esta fuente de carbono, indicando que la oxidación de los ácidos grasos es un sistema inducible [29]. No obstante, se ha demostrado que se necesitan ácidos grasos con una cadena mayor o igual a 12 carbonos para inducir este sistema [5]. Los ácidos grasos presentes en la semilla son principalmente el linoléico con 18 carbonos, el oleico con 18 también y el palmítico con 16.

La tolerancia de *E. coli* al etanol. La concentración de etanol con la que se elaboraron los extractos fue con etanol al 80%. El etanol, como muchos otros productos, puede generar inhibición del crecimiento bacteriano. Sin embargo, cultivos seriados del microorganismo en concentraciones crecientes de este alcohol, han logrado un mantenimiento en la viabilidad celular a concentraciones de etanol de más de 7,5% p/v [30; 27].

## CONCLUSIONES

Las semillas de guayaba mexicana contienen 61.4% de

fibra cruda, 50.2% de fibra dietética, 17.3% de carbohidratos totales, 12.9% de lípidos, 3.6% de proteína constituida a su vez por un 56.6% de glutelinas, siendo ésta la fracción mayoritaria.

La fibra, el aceite y las proteínas que contienen las semillas de guayaba podrían ser empleados en la elaboración de alimentos funcionales.

El método de extracción con el cual se obtiene un mayor rendimiento de compuestos fenólicos fue el método de ultrasonido con un tiempo de 30 minutos presentando 27.8% más fenoles sobre maceración en frío a 24 horas.

El extracto de semilla obtenido en este experimento no inhibe el crecimiento de bacterias como *Salmonella typhi* y *E. coli*.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por el proyecto Desarrollo tecnológico para el aprovechamiento integral de frutas y hortalizas (PAPIIT IT201216) de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM.

## REFERENCIAS

- [1] AOAC (1997). Association of Official Agricultural Chemists. Official Methods of Analysis. Washington, D.C.
- [2] American Association of Cereal Chemists (AACC) (2001). Annual Meeting, 14-18 October, Charlotte, North Carolina, USA.
- [3] Bernardino, A., Ortiz, A., Martínez, A., y Dávila, G. (2001) Guava seed protein isolate: Functional and nutritional characterization. *J. of Food Biochemistry*, 25(1), 77-90.
- [4] Bourgeois, P., Guylene, S. A., Abaul, J. y Joseph H. (1998) Valorization de la graine de goyave: huile de l'amande et poudre abrasive des coques. *Chaires Agriculture*, 7(2), 105-109.
- [5] Campbell, J., Morgan, R. y Cronan, J. (2003). A new *Escherichia coli* metabolic competency: growth on fatty acids by a novel anaerobic beta-oxidation pathway. *Molecular microbiology*, 47, 793-805.
- [6] Campo, J. (2013). Semillas de guayaba son efectivas antimicrobianas. *Un periódico*, s.v. 164 (14). Recuperado de: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/uploads/media/UNPeriodico164.pdf>
- [7] Chávez, J., Vera, A., Carrillo, J. y Heredia, E.

- (2016) Variación en contenido de minerales en frutos de variedades autóctonas de Chile (*Capsicum annum* L.), cultivadas en invernadero. *Revista de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, 23(1), 48-57.
- [8] El, D. M. H. A. S. y Yassen, A. A. E. (1997) Evaluation of utilization of guava seed meal (*Psidium guajava* L.) in cookies preparation as wheat flour substitute. *Nahrung*, 41(6), 344-348.
- [9] Espinosa, D., Ramírez, E., González, L., Cesáreo, K., Rosas, H. y Sánchez, L. (2012). Actividad antibacteriana de extractos de *Psidium guajava* L. y *Psidium guineense* L. *Latinoamer. Quim.*, 1(39), 197.
- FAO (2007). Análisis de fibra dietética. México: FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/Ah833s18.htm> Fecha de consulta: 16 de enero de 2018.
- [10] Fogliano, V., Verde, V., Randazzo, G. y Ritieni, A. (1999) Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3):1035-1040.
- [11] Goesart, H., Bris, K., Veraberbeke, W.S., Courtin, C. M., Gebruers, K. y Delcour, J.A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 1(16), 12-30.
- [12] Iram, S. y Cronan, J. (2006) The  $\beta$ -Oxidation Systems of *Escherichia coli* and *Salmonella enterica* are not functionally equivalent. *Journal of bacteriology*, 188, 599-608.
- [13] Jiménez, A., Rincón, M., Pulido, R. y Saura F. (2001). Guava fruit (*Psidium guajava* L.) as a new source of antioxidant dietary fiber. *J. Agric. Food Chem.*, 49, 5489-5493.
- [14] Lowry O., Rosebrough, N., Farr, A. y Randall, R. (1951) *Biol. Chem.*, 193, 265-275.
- [15] Maloy, S. R., Ginsburgh C. L., Simons, R. W., Nunn W.D., (1981). Transport of long and medium chain fatty acids by *Escherichia coli* K12. *The Journal of biological chemistry*, 256, 3735-42.
- [16] Martínez, J., Molina, N., y Boucourt, E. (1997). Evaluación de la actividad antimicrobiana de *Psidium guajava* L. (Guayaba). *Revista cubana de plantas medicinales*, 2(1), 12-14.
- [17] Nivia, A., Castro, H., Parada, F., Rodríguez, I. y
- [18] Restrepo, P. (2007). Aprovechamiento integral de la guayaba (*Psidium guajava* L.): I. Obtención de extractos a partir de semillas utilizando como solvente CO<sub>2</sub> supercrítico. *Scientia et Technica*, 1(33), 79-82.
- [19] Olaya, J. y Restrepo, L. (2012). Estudio del contenido de fenoles y actividad antioxidante de guayaba en diferentes estados de madurez. *Acta Biológica Colombiana* 17(3), 611-624.
- [20] Osborne, T. (1924). *The vegetable proteins*. Longmans, Green and Co., London.
- [21] Pamplona, J. (2003). *Salud por los alimentos*. Madrid, España: Safeliz.
- [22] Pérez, E., Ettiene, G., Marín, M., Casassa, A., Silva, N., Raga, J., González, C., Sandoval, L. y Medina, D. (2014). Determinación de fenoles y flavonoides totales en hojas de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía LUZ*, 31(1), 60-77.
- [23] SAGARPA. (2017). Aumenta 8.2 por ciento producción de guayaba en México en el último trienio. México: SAGARPA. Recuperado de: [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC\\_0006-3.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0006-3.aspx) Fecha de consulta: 06 de noviembre de 2017
- [24] NMX-F-428-1982. Determinación de humedad (Método rápido de la termobalanza). *Diario Oficial de la Federación*, 07 de octubre de 1982.
- [25] Soria, J., Guevara, I., Padilla, J., Vasco, N. (2004) Determinación de proteínas de reserva en semillas de selecciones de guayaba (*Psidium guajava* L.) del estado de Aguascalientes. *Sdes de guayaba*. Recuperado de: [www.uaa.mx/investigacion/memoria/ponencias/mesa\\_cna/doc/soria\\_cruz.doc](http://www.uaa.mx/investigacion/memoria/ponencias/mesa_cna/doc/soria_cruz.doc) Fecha de consulta: 31 de enero de 2018
- [26] Souza, C., Damé, L., Hörnke, G., Ziemann, M., Alves, M., y Araújo M. (2011). Evaluación de la actividad bactericida de aceites esenciales de hojas de guayabo, pitango y arazá. *Revista cubana de plantas medicinales*, 16(4), 324-330.
- [27] Trinh, C. et al., (2010). Elucidating mechanisms of solvent toxicity in ethanologenic *Escherichia coli*. *Biotechnology and bioengineering*, 106, 721-30.
- [28] Vasco, N., Guevara, I., Acero, M. y Toro J. (2002) Chemical composition of seeds and oil of guava (*Psidium guajava* L.). *Scientiae Naturae*, 4(2), 25-32.
- [29] Weeks, G. et al., (1969). Control of fatty acid metabolism. I. Induction of the enzymes of fatty acid oxidation in *Escherichia coli*. *Journal of bacteriology*, 97, 827-36.
- [30] Yomano, L., York, S. e Ingram, L., (1998). Isolation and characterization of ethanol-tolerant mutants of *Escherichia coli* KO11 for fuel ethanol production. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 20, 132-8.

## ATRIBUTOS FÍSICOS Y TEXTURALES DE PAN DE CAJA SIN GLUTEN ELABORADO CON GOMAS Y ALMIDÓN Y HOJUELA DE PAPA.

Mellany Michelle Hernández Rochín, Norma Beatriz Casas Alencáster, María Guadalupe Sosa Herrera

Fes Cuautitlán Campo 1 Universidad Nacional Autónoma de México

sohemagu@gmail.com

### RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la elaboración de pan de caja libre de gluten empleando goma xantana (X), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), almidón nativo de papa (A) y hojuelas de papa (H), en diferentes proporciones. Los parámetros medidos fueron volumen específico, altura, pérdida de peso, atributos texturales y análisis de imagen. El objetivo del proyecto fue encontrar la formulación que proporcionara un producto con las características previamente mencionadas lo más cercanas posibles a un pan de caja con gluten. Para ello se varió primero la concentración de goma, después la proporción entre el almidón y hojuelas de papa, comparando con un pan control a base de harina de trigo (CC) y un pan control a base de harina de arroz (CS). Se obtuvieron resultados favorables al utilizar 1.85% de goma xantana, 0.62% HPMC y 54.85% de almidón de papa.

**PALABRAS CLAVE:** Gluten, xantana, hidroxipropilmetilcelulosa, hojuelas de papa, almidón

### ANTECEDENTES

La panificación es una de las ramas más productivas del sector de alimentos, al mantener en operación 50% de su capacidad instalada, lo cual supera a la industria en general, dentro de los productos de panificación destaca el pan blanco de caja. En materia de precios, los panes muestran un comportamiento atípico, pues su encarecimiento casi nunca se refleja en una reducción del volumen de ventas y ello se debe a que la población mexicana tiene la costumbre de acompañar casi cualquier platillo con pan blanco (bolillo, telera, de molde) [2]. Sin embargo, el 10% de la población mundial ha volteado hacia otros productos asociados con su salud, como es el caso de los que padecen celiaquía (en México el 0.68% de la población) [7]. La celiaquía es una enfermedad auto-inmunitaria donde el cuerpo es intolerante al gluten ya que éste provoca una lesión severa en la mucosa del intestino delgado. El gluten es la principal proteína que forma la estructura en la harina, y es responsable de las características elásticas de la masa, además de contribuir con la apariencia y

la estructura de la miga de muchos productos horneados [5]. Las personas que padecen celiaquía se ven forzadas a cambiar su dieta por completo, evitando principalmente productos a base de harina de trigo, cebada, centeno y avena como pastas, productos lácteos, confitería y productos de panificación. Actualmente se han realizado estudios para elaborar productos de panificación sin gluten, y se ha buscado incorporar diferentes tipos de harinas como la de arroz, de soya, de trigo sarraceno, hojuelas de papa, entre otros. Al mismo tiempo se busca incorporar gomas como guar, xantana, hidroxipropilmetilcelulosa, pectina y proteínas de origen animal, así como fibra, esto con la finalidad de mejorar las características texturales, estructura de la miga y apariencia del producto final.

### OBJETIVO

Desarrollar una formulación de pan de caja blanco sin gluten a base de harina de arroz que presente las propiedades físicas y texturales similares al pan

elaborado con harina de trigo, mediante la adición de goma xantana, hidroxipropilmetilcelulosa, almidón nativo de papa y hojuelas de papa.

## PARTE EXPERIMENTAL

### • Materiales

Harina de arroz (HA), hojuelas de papa (H), almidón nativo de papa (A), goma xantana (X), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), clara de huevo líquida pasteurizada, levadura instantánea, agua, sal, azúcar, aceite de canola, jugo de limón y leche entera en polvo.

### • Muestras

Se realizaron diversas formulaciones comenzando con un control con gluten (CC), compuesto por harina de trigo, leche entera en polvo, azúcar, sal, levadura instantánea, aceite de canola, y agua; también se realizó un control sin gluten (CS) con los mismos ingredientes utilizados para el CC, solo se sustituyó la harina de trigo por la harina de arroz. Posteriormente se realizó una formulación constante basada en la formulación original [8], que incluyó clara de huevo y papa fresca, dicha formulación se mantuvo constante en cada objetivo, la cual consistió en (expresada con base en harina): harina de arroz 45%, mezcla de hojuelas y almidón de papa 55%, azúcar 7.89%, levadura 3.94%, sal 1.01%, aceite de canola 7.89%, clara de huevo 47.34%, jugo de limón 3.16%, agua 75.14%. Para el estudio se varió en primera instancia la proporción de X y HPMC, seleccionando la que proporcionó las mejores características y posteriormente se varió la proporción de A y H, cabe mencionar que para lograr una masa con buena consistencia se adicionó agua extra la cual se expresó en porcentaje con base a la harina, dichas formulaciones se presentan en la Tabla 1.

### • Métodos.

**Volumen específico.** Se realizó a la hogaza completa la cual se colocó en un recipiente cilíndrico de plástico y se cubrió por completo con semillas de mijo, con agua se midió el volumen equivalente de la hogaza de pan y finalmente se calculó el volumen específico ( $V_e = \text{mL/g}$ ).

**Pérdida de peso.** Se pesó la hogaza en una balanza digital y se restó al peso de la masa previa al horneado, ésta se expresó en porcentaje.

**Análisis de perfil de textura.** Se realizó en un textu-

rómetro TA-TX2 marca Stable Microsystems (Inglaterra), con cilindro de acrílico de 25 mm de diámetro, a velocidad de acercamiento, prueba y retirada de 1.7 mm/s, se comprimieron 2 rebanadas de pan 6.2 mm con una fuerza de contacto de 10 g [1].

**Análisis de imagen.** Se realizó el análisis de la imagen de la miga empleando el programa "IMAGE PRO-PLUS 6" (Media Cybernetics), que permitió diferenciar los poros, de los cuales se hizo un conteo y medición, así como del área, el diámetro mayor y el área de cada poro entre el área total medida [3]. Se obtuvieron los parámetros de:

- Fineza =  $N^\circ$  de objetos medidos/ área evaluada
- Fracción vacía =  $\text{área total de los poros} / \text{área evaluada}$
- Uniformidad =  $\text{Número de poros menores a 1mm} / \text{Número poros mayores a 1mm}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran resultados de volumen específico, altura y pérdida de peso al variar la concentración de gomas; en el caso del CC se han reportado valores de volumen específico de 2.5-4.76 mL/g, mientras que para pan sin gluten valores entre 1.3-2,19 mL/g [4,10], los valores que se obtuvieron en este trabajo se encontraron dentro de los reportados, sin embargo, no se aproximaron a los valores del CC, el uso de altas concentraciones de HPMC resultó en productos con baja altura, alto  $V_e$  y presentaron disminución de la altura durante el horneado, mientras que el uso de 1.85% X y 0.62% HPMC resultó en un producto con altura y  $V_e$  aceptables sin generar disminución de altura durante el horneado.

Variable	X (%)	HPMC (%)	A (%)	H (%)	Agua agregada (%)
Goma	2.46	0	37	18	0
	0	2.46			
	1.23	1.23			
	0.62	1.85			
	1.85	0.62			
Harinas	1.85	0.62	55	0	0
			41	14	0
			37	18	101.37
			27	27	135.29
			27	27	135.29
			18	37	143.59
			14	41	139.71
0	55	206.39			

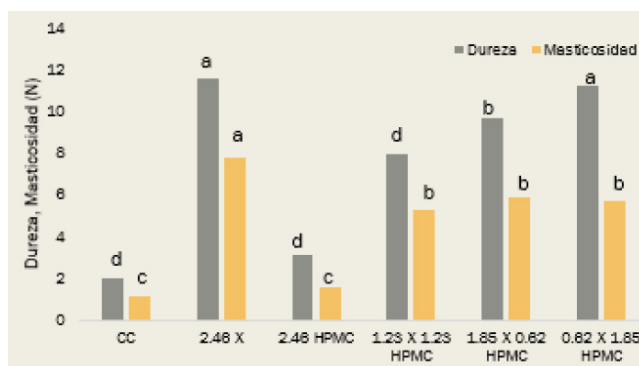
**Tabla 1.** Formulaciones realizadas

En las Figuras 1 y 2 se muestran resultados del análisis de perfil de textura (TPA), el CS resultó en un producto con elevada dureza (56.73 N) debido a que no se adicionó ninguna goma que mejorara el producto. Se puede observar que al agregar 2.46% de HPMC resultó en un producto suave y parecido con el CC, sin embargo, presentó una disminución en la altura durante el horneado; debido a la retención de agua y firmeza que brinda la xantana, a mayor concentración se obtuvo un producto más duro.

Muestra		Ve (mL/g)	Altura (mm)	Pérdida de peso (%)
Control con gluten		4.7±0.6 <sup>a</sup> (12%)	76.4±0.75 <sup>a</sup> (1%)	25.9
Control sin gluten		1.46	27.7±2.13 (8%)	12.9
Xantana (%)	HPMC (%)			
2.46	0	2±0.05 <sup>b</sup> (2%)	46.6±0.36 <sup>b</sup> (1%)	23.2
0	2.46	2.8±0.3 <sup>b</sup> (10%)	34.2±3 <sup>d</sup> (10%)	18.7
1.23	1.23	2±0.16 <sup>b</sup> (6%)	43±1.2 <sup>b,c</sup> (3%)	19.2
0.62	1.85	1.8±0.30 <sup>b</sup> (16%)	41±0.7 <sup>bc</sup> (2%)	18
1.85	0.62	2.1±0.02 <sup>b</sup> (1%)	38±0.06 <sup>cd</sup> (0.001%)	17.3

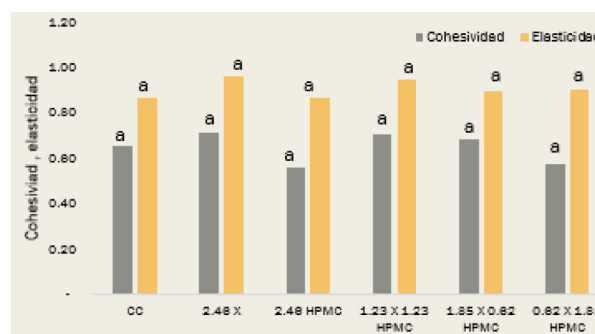
Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con  $\alpha=0.05$ .

**Tabla 2.** Ve, altura y pérdida de peso en pan con 37% almidón de papa y 18% hojuelas de papa.



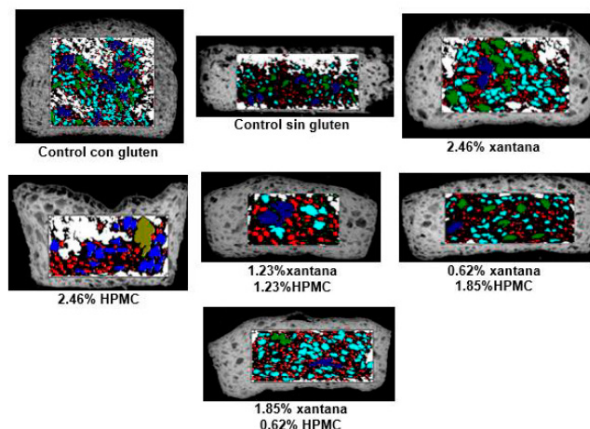
**Figura 1.** Dureza y masticidad en pan con 37% almidón de papa y 18% hojuelas de papa.

Los productos obtenidos presentaron una cohesividad y elasticidad estadísticamente igual, mientras que en masticidad difieren, siendo que a una alta concentración de xantana se obtiene un producto con mayor masticidad.



**Figura 2.** Cohesividad y elasticidad en pan con 37% almidón de papa y 18% hojuelas de papa.

En la Figura 3 se muestran imágenes de las rebanadas de pan una vez que se analizó la estructura de la miga. Los poros contados y medidos en el área de estudio aparecen coloreados. Cada color se refiere a una clase de poros con base en el área de los mismos. Los poros más pequeños son de color rojo y los más grandes de color verde. Los que aparecen en blanco son aquellos que estaban conectados entre sí y parte de ellos quedaba fuera del área de estudio, por lo que no fueron tomados en cuenta por el software. Puede notarse que el control con gluten tiene más poros y éstos son en general más pequeños, mientras que las formulaciones sin gluten y con gomas presentaron menos poros y éstos fueron de mayor tamaño, particularmente la formulación que solamente contenía HPMC, notándose una depresión en el centro de la rebanada. Se observó una estructura de miga más cercana al CC cuando se empleó 1.85% de X y 0.62% HPMC, debido al tamaño y aparentemente más cantidad de poros en comparación con el resto de formulaciones, esto se expresa con resultados numéricos en la Tabla 3.



**Figura 3.** Análisis de imagen en pan con 37% almidón de papa y 18% hojuelas de papa.

Con los resultados obtenidos de la primera etapa se tomó como base el uso de 1.85% de xantana y 0.62% HPMC y por medio de un diseño de mezclas en el programa Minitab se obtuvieron 8 formulaciones donde se varió la proporción de almidón de papa (A) y hojuelas de papa (H). En la Tabla 4 se presentan los resultados de volumen específico, altura y pérdida de peso. El CC mostró el mayor volumen específico y altura, siendo estadísticamente diferente a los demás en ambas características. Conforme se agregó mayor cantidad de hojuelas de papa se notó una disminución del volumen específico y la altura, debido a que las hojuelas de papa retuvieron mucha agua y no permitían el crecimiento de la masa durante la fermentación, las formulaciones con 54.85% de A y 0% de H; 41.15% de A y 13.73% de H; 36.58% de A y 18.27% de H son estadísticamente iguales en volumen específico mientras que el resto son iguales entre sí, la formulación con 54.85% de A y 0% de H tuvo más altura comparada con el resto, en altura no se mostró una tendencia clara ya que al adicionar diferentes cantidades de agua el crecimiento durante el horneado y la pérdida de peso variaron, se puede ver que en las formulaciones con 27.42% de A y 27.42% de H a pesar de una altura elevada no mostraron un volumen específico mayor.

Muestra		Fineza (Poros/cm <sup>2</sup> )	Frac. Vacía	Uniformidad
Control con gluten		13±0.1 <sup>b</sup> (1%)	0.2±0.03 <sup>a</sup> (13%)	1.8±0.08 <sup>a</sup> (4%)
Control sin gluten		10±2.1 (20%)	0.1±0.01 (9%)	1.1±0.3 (23%)
X (%)	HPMC (%)			
2.46	0	13.2±0.5 <sup>b</sup> (4%)	0.3±2.1 <sup>a</sup> (8%)	1.1±0.3 <sup>b</sup> (23%)
0	2.46	4.2±0.8 <sup>e</sup> (19%)	0.2±8.7 <sup>a</sup> (36%)	1±0.3 <sup>b</sup> (30%)
1.23	1.23	7.9±0.4 <sup>d</sup> (5%)	0.2±5.5 <sup>a</sup> (0.24)	0.9±0.13 <sup>b</sup> (13%)
0.62	1.85	11±0.7 <sup>c</sup> (7%)	0.2±3 <sup>a</sup> (13%)	0.94±0.04 <sup>b</sup> (4%)
1.85	0.62	16±0.5 <sup>a</sup> (3%)	0.25 <sup>a</sup> (0%)	1±0.07 <sup>b</sup> (7%)

Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con  $\alpha = 0.05$

**Tabla 3.** Análisis de imagen en pan con 37% almidón de papa y 18% hojuelas de papa.

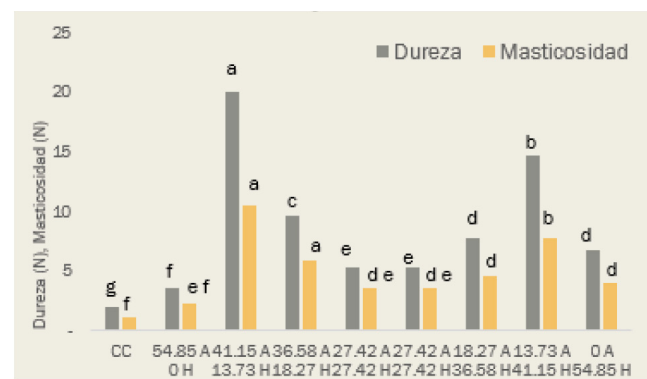
En la Figura 4 y 5 se presentan los valores obtenidos del análisis de perfil de textura donde se observa que en dureza todas las formulaciones fueron estadísticamente diferentes al control con gluten, siendo la más cercana la que no contenía hojuelas de papa, mientras que la que contenía 13.73% de hojuelas de papa fue demasiado dura; en elasticidad todas las formulaciones presentaron un alto valor y fueron estadísticamente iguales; la cohesividad se encontró entre 0.55 y 0.77. Claramente la formulación con parámetros más cercanos a CC fue la que contenía 55% de A y sin hojuelas debido a su baja dureza y mayor altura además de poseer menor masticosidad. Los valores de dureza bajaron y subieron en el resto de las formulaciones por lo que no hubo una tendencia clara, esto se atribuyó a las variaciones de agua agregada en cada formulación con la finalidad de obtener una masa con la consistencia necesaria para poderse moldear. A medida que se incrementó la proporción de almidón de papa, las formulaciones requirieron mayor cantidad de agua, por lo

que el producto resultó gelatinoso y muy húmedo ya que no perdió suficiente humedad durante el horneo debido a la alta cantidad de hojuelas de papa.

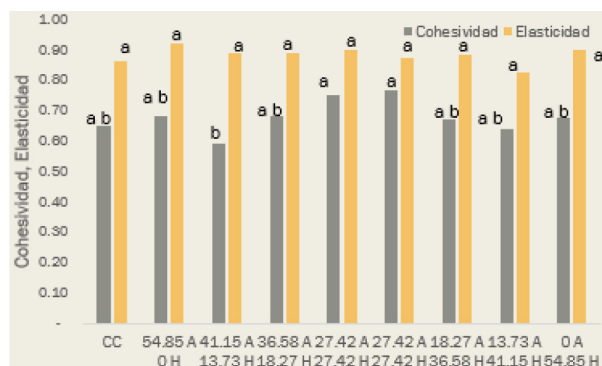
Muestra		Ve (mL/g)	Altura (mm)	Pérdida de peso (%)
<b>Control con gluten</b>		4.7±0.6 <sup>a</sup> (12%)	76.4±0.8 <sup>a</sup> (1%)	25.9
<b>Control sin gluten</b>		1.5	28±2.1 (8%)	23.2
<b>A (%)</b>	<b>H (%)</b>			
<b>55</b>	<b>0</b>	2.9 ± 0.06 <sup>b</sup> (2%)	55.6 ± 0.6 <sup>b</sup> (1%)	24.8
<b>41.15</b>	<b>13.73</b>	2 ± 0.01 <sup>b c</sup> (0.3%)	39 ± 1 <sup>c</sup> (2%)	23.1
<b>36.58</b>	<b>18.27</b>	2.1 ± 0.02 <sup>b</sup> (1%)	38 ± 0.06 <sup>b c</sup> (0.001%)	17.3
<b>27.42</b>	<b>27.42</b>	1.4 ± 0.2 <sup>c</sup> (16%)	43 ± 1.15 <sup>c</sup> (3%)	21.4
<b>27.42</b>	<b>27.42</b>	1.3 ± 0.4 <sup>c</sup> (27%)	42 ± 2 <sup>c</sup> (4%)	24.4
<b>18.27</b>	<b>36.58</b>	1.57 ± 0.08 <sup>c</sup> (5%)	34 ± 0.5 <sup>d</sup> (1%)	22.8
<b>13.73</b>	<b>41.15</b>	1.5 ± 0.3 <sup>c</sup> (20%)	30.6 ± 1.9 <sup>d</sup> (6%)	22.7
<b>0</b>	<b>54.85</b>	2 ± 0.02 <sup>c</sup> (1%)	39 ± 1.03 <sup>c</sup> (3%)	23

Los valores que comparten la misma letra son estadísticamente iguales con  $\alpha=0.05$

**Tabla 4.** Ve, altura y pérdida de peso en pan con 1.85% X y 0.62% HPMC.

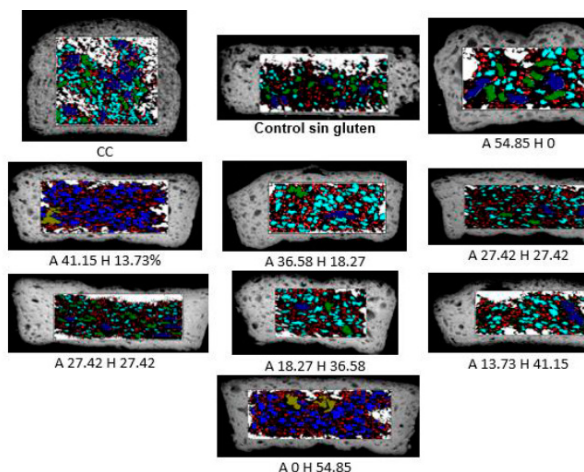


**Figura 4.** Dureza y masticidad en pan con 1.85% A y 0.62 HPMC.



**Figura 5.** Cohesividad y elasticidad en pan con 1.85% X y 0.62% HPMC.

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos del análisis de imagen, donde se observa que, en finza la mayoría de las formulaciones fueron iguales estadísticamente al CC con excepción de la formulación con 54.85% de A y sin hojuelas ya que ésta obtuvo menos poros y de mayor tamaño, lo que se puede notar en la Figura 6; en cuanto a fracción vacía y uniformidad se ve diferencia estadística, ya que algunas formulaciones presentaron más poros pero de menor tamaño; lo anterior se atribuyó a la cantidad de hojuelas de papa, ya que cuanto más se aumentó su concentración, la estructura de la miga lució más compacta y con poros de menor tamaño debido a que no permitió la correcta generación de gas durante la fermentación.



**Figura 6.** Efecto de la proporción de harinas en el análisis de imagen en pan con 1.85% X y 0.62% HPMC

Muestra		Fineza (Poros/cm <sup>2</sup> )	Frac. Vacía	Uniformidad
Control con gluten		12.6±0.1 <sup>b</sup> (1%)	0.2±0.03 <sup>b</sup> <sub>c</sub> (13%)	2±0.08 <sup>a b</sup> (4%)
Control sin gluten		10.2±2.1 (20%)	0.1±0.01 (9%)	1.1±0.3 (23%)
A (%)	H (%)			
55	0	6.6±0.2 <sup>c</sup> (3%)	0.3±2.1 <sup>a</sup> (8%)	1.4±0.2 <sup>c d e</sup> (13%)
41	14	16.3±1.4 <sup>a</sup> <sub>b</sub> (9%)	0.2±0.01 <sup>c d</sup> (3%)	1.7±0.02 <sup>b c</sup> (1%)
37	18	15.5±0.5 <sup>a</sup> <sub>b</sub> (3%)	0.3 <sup>a b</sup> (0%)	1±0.07 <sup>e</sup> (7%)
27	27	16±2.5 <sup>a b</sup> (15%)	0.22 <sup>a b</sup> (15%)	1.3±0.1 <sup>d e</sup> (3%)

**Tabla 5.** Análisis de imagen en pan con 37% almidón de papa y 18% hojuelas de papa.

## CONCLUSIONES

La adición de goma xantana e hidroxipropilmetilcelulosa en conjunto, donde predomina la concentración de xantana favorece a las propiedades del pan ya que la mezcla de ambas junto con el almidón nativo de papa brindan características viscoelásticas a la masa que permiten el desarrollo de la estructura de la masa durante la fermentación y que conserve el volumen durante el horneado, además de mejorar las características del producto final ya que dan como resultado un pan con buena altura, con volumen específico y apariencia similares a un pan de caja elaborado con gluten. Por el contrario, altas concentraciones de HPMC dieron productos de baja altura y deformes; la exclusión de hojuelas de papa en su totalidad dio un producto más alto y más suave, cohesivo y más elástico, aunque con poros más grandes, presentando características cercanas al control con gluten (CC) ya que no hubo alta retención de humedad, mientras que altas concentraciones de hojuelas de papa resultaron productos compactos y pesados que aunque elásticos fueron muy duros.

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa Interno para Proyectos de Investigación, PIAP por el apoyo financiero otorgado al proyecto "Propiedades reológicas y funcionales en alimentos". Referencias

- [1] AACC. (1983). AACC method 74-09; Bread firmness by universal testing machine. In Approved methods of the American Association of Cereal Chemist Vol 2 (18th ed.). St Paul, MN: American Association of Cereal Chemist, Inc.
- [2] ANPROPAN. (2016). Industria de la panificación; datos estadísticos. MexiPan, 14:1–25.
- [3] Casas A. 2017. Apuntes del taller de reología y textura de alimentos. LAPRYFAL
- [4] Demirkesen I., Mert B., Summu G., Sahin S. (2008). Rheological properties of gluten-free bread formulations. Journal of Food Engineering, 96(2010), 295-303.
- [5] Gallagher, E., Gormley, T., Arendt, E. 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. Food Science y Technology. 15:143–152.
- [6] Hager A., Arendt K. (2012). Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xantana gum and their combination on loaf specific volumen, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. Food Hydrocolloids, 32(2013), 195-203.
- [7] Hernández O., Jiménez M., Pena S. (2017). Una enfermedad silenciosa. 2017, de Celiacos de México A.C disponible en: <http://www.celiacosdemexico.org.mx/enfermedad-celiaca>
- [8] López A. Proyecto de tesis de taller de reología y textura de alimentos LAPRYFAL, 2017
- [9] López Francisco. (2014). Pan de molde sin gluten. 2017, de Feliz sin gluten disponible en: <http://www.felizingluten.com/pan-de-molde-sin-gluten/>
- [10] Rezentti S., Dal Bello F., Arendt E. (2007). Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free treated with a microbial transglutaminase. Cereal Science, 48, 33-45.



## EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE LA EVAPORACIÓN AL VACÍO Y PASTEURIZACIÓN POR MICROONDAS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE JUGOS CÍTRICOS

Gian Carlo Izazaga Romero<sup>1</sup>, Julieta González Sanchez<sup>1</sup>,  
Francisco Javier López Martínez<sup>1</sup>, María Elena Vargas Ugalde\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

[mevargasu@gmail.com](mailto:mevargasu@gmail.com)

### RESUMEN

La aplicación de nuevas tecnologías en los tratamientos térmicos como la pasteurización por microondas han tenido interés creciente, así como su empleo con otros tratamientos como la evaporación al vacío. En este trabajo se investigó el efecto de las condiciones de operación de dichos procesos en jugos de naranja y mandarina con relación a los cambios de color y contenido de vitamina C. El objetivo de la pasteurización fue la inactivación de la Pectinmetilesterasa (PME), la cual se inactivó de un 80% a 95.75% bajo diferentes condiciones de proceso. Se encontró que a mayor tamaño de partícula se requiere mayor energía para realizar la evaporación. La combinación de los dos procesos ocasionó un menor efecto térmico sobre los componentes termolábiles de los jugos, con respecto al empleo de pasteurización únicamente.

**PALABRAS CLAVE:** Evaporación al vacío, pasteurización por microondas, jugos cítricos, vitamina C, naranja, mandarina, pectinmetilesterasa.

### ANTECEDENTES

En épocas recientes, la producción de jugos cítricos ha ido en aumento debido a que son excelentes fuente de vitaminas, minerales, fibras y antioxidantes -como los compuestos fenólicos- que son efectivos en la prevención de enfermedades cardiovasculares, varios tipos de cánceres y diabetes [1]. La pectina, es un polisacárido importante en la calidad para la elaboración de jugos, ya que da estabilidad a la suspensión de coloides conocida como "nube" además de dar la apariencia de turbidez, que se vuelve una característica deseable en esta clase de productos. La pectinmetilesterasa (PME), también conocida como pectinasa, pectinesterasa o pectin metoxilasa, es una enzima que influye en la estabilidad de la "nube", viscosidad, color, sabor y la palatabilidad de los jugos cítricos. Debido a esto, la inactivación de la PME es introducida como un parámetro de pasteurización en jugos cítricos ya que su resistencia térmica es mayor en comparación con los microorganismos encargados de la putrefacción de los alimentos [1]. Los jugos cítricos son

procesados a altas temperaturas para lograr la pasteurización, pero los efectos de tratamientos térmicos severos logran pérdidas en aspectos de calidad, debido a los componentes orgánicos volátiles como lo son la mayoría de los complejos solubles (azúcares, ácidos y flavonoides) y compuestos aromáticos (en su mayoría mono y sesquiterpenos) [2]. La PME es totalmente inactivada durante la pasteurización de jugo de naranja en tratamientos de 100°C durante 7 minutos, sin encontrar trazos de actividad enzimática por 240 días.

El uso de tecnologías emergentes y tratamientos no térmicos para la pasteurización de jugos ha aumentado en años recientes, buscando disminuir las pérdidas de calidad de los jugos respecto a su compuestos volátiles, por ejemplo, Agcam et al [3] realizaron un tratamiento a través de un campo de pulsos eléctricos, donde se observó una reducción del 35.1% (13.8 kV/cm, 1033.9µs) y 93.8% (25.3 kV/cm, 1206 µs) en la actividad enzimática de PME du-

rante 25 semanas y media de almacenamiento en comparación con tratamientos térmicos convencionales como el reportado por Esteve et al [4], donde la actividad de PME de jugo de naranja pasteurizado comercialmente (100°C por 20 segundos) disminuyó por 2 semanas de almacenamiento. Sin embargo, se observó un aumento de la actividad enzimática a partir de la 3 semana. El uso de un sistema de calentamiento continuo por microondas (900W, 2450 MHz) se aplicó en la pasteurización de jugo de naranja, donde se observó una reducción de la actividad enzimática del 93.04% y 95.36% bajo condiciones de 75°C y 83°C respectivamente [5]. El combinar tratamientos térmicos entre sí o tratamientos no térmicos con tratamientos térmicos ha ido en aumento para el desarrollo de procesos que disminuyan el efecto de la temperatura sobre los jugos, por lo que el estudio de la pasteurización por microondas junto a la evaporación al vacío como alternativa para la pasteurización de jugos cítricos tiene actualmente gran interés.

## OBJETIVO

Evaluar el proceso de la evaporación al vacío en jugos cítricos pasteurizados por microondas mediante la eficiencia evaporativa y energética para establecer las mejores condiciones de proceso, y observar el efecto sobre sus propiedades, como el color y el contenido de vitamina C, entre otros.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Preparación de la muestra

Se compraron naranjas y mandarinas de la central de abastos local, las cuales fueron lavadas y peladas. Se les retiraron las semillas, para después obtener el jugo a través de un extractor de jugos HUROM Serie HN, obteniendo dos tamaños de partícula, que se denominaron partícula fina y partícula gruesa, para después concentrarlo y pasteurizarlo.

### Tratamiento térmico

Se realizó la pasteurización por microondas usando un horno Samsung Modelo CMO (1000 W, 24560 MHz). Para la determinación de tiempos de procesamiento se realizaron pruebas con agua y jugo de naranja procesados a distintos tiempos, de lo cual se obtuvo la temperatura de proceso, que fue de 82°C ± 2°C. Para la evaporación al vacío se utili-

zó un rotavapor modelo RE100-PRO DLAB donde el jugo se mantuvo durante 30 minutos a dos diferentes velocidades de agitación (80 rpm, 100 rpm) y dos temperaturas de proceso (40°C y 50°C). Se decidió que la mitad de la experimentación sería realizando primero el proceso de la evaporación al vacío seguida de la pasteurización por microondas (sentido normal), mientras que en el resto de la experimentación se realizó primero la pasteurización por microondas para seguir con la evaporación al vacío (sentido inverso).

### Actividad de PME

Se midió la actividad de las PME usando el método propuesto por Kimball [6] donde a 10 ml de jugo se le agregaron 40 ml de una solución de pectina-sal al 1% incubada a 30°C. La solución se ajustó a un pH de 7 con una solución 2N de NaOH, y después el pH de la solución se reajustó dentro de los valores de 7.6 a 7.8 con una solución al 0.5N de NaOH. Después se agregaron 0.10 ml de la solución 0.5N de NaOH y se midió el tiempo que se tardó en regresar al pH establecido. La actividad enzimática se calculó a través de las ecuaciones (1) y (2):

Determinación de ácido ascórbico

$$A = \frac{(0.05N_{NaOH}) * (0.10ml_{NaOH})}{(\text{tiempo}(\text{min})) * (10\text{ml muestra})} \quad (1)$$

$$\text{Actividad residual de PME (\%)} = \left( \frac{A_t}{A_0} \right) \quad (2)$$

Se determinó la concentración de ácido ascórbico (vitamina C) a través de una titulación REDOX. Se utilizó una solución de Iodo al 0.005M y una solución de almidón al 5% como indicador.

### Medición de color

Se tomaron fotografías usando una cámara Canon® EOS Rebel T6 usando el modo de captura específico para alimentos, las cuales se analizaron usando el software Adobe Photoshop CS6® (Adobe Systems inc.) de donde se obtuvieron los valores de L, a y b, y los cuales se convirtieron en valores L\*, a\* y b\* a través de las ecuaciones (3), (4) y (5) para después determinar el índice de pardeamiento (BI) con la ecuación (6), donde x es un valor obtenido mediante la ecuación (7):

$$L^* = \frac{100}{255} L \quad (3)$$

$$a^* = \frac{240}{255} a - 120 \quad (4)$$

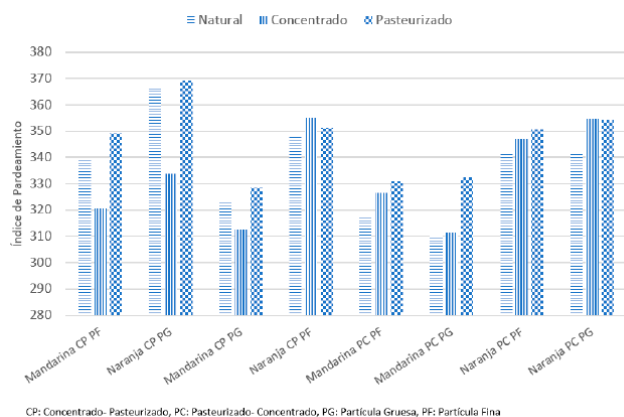
$$b^* = \frac{240}{255} b - 120 \quad (5)$$

$$BI = \frac{[100(x-0.31)]}{0.17} \quad (6)$$

$$x = \frac{(a^* + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \quad (7)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestra una gráfica comparativa del color de jugo de naranja y mandarina antes del proceso, y su cambio después de concentrar al vacío y pasteurizar por microondas. Se observa que existe una disminución del índice de pardeamiento en todos los jugos en la etapa de concentración, debido principalmente al tiempo que el jugo estuvo sometido al tratamiento, haciendo que pierda intensidad, además se observa que al realizar el proceso en sentido inverso se puede evitar el cambio total del color, puesto que los tiempos de calentamiento y enfriamiento son mucho más rápidos, inactivando así a las enzimas que pudieran realizar algún cambio de color. Aunque también pueden ocurrir cambios en los aspectos físicos del jugo, tales como el cambio de color por degradación térmica del ácido ascórbico (siendo esta una vitamina sensible al calor) y no debido a un pardeamiento enzimático [1].



CP: Concentrado- Pasteurizado, PC: Pasteurizado- Concentrado, PG: Partícula Gruesa, PF: Partícula Fina

Figura 1. Índice de pardeamiento.

En la Figura 2 se muestra la actividad residual de la PME, se observa que aquellos jugos procesados con un tamaño de partícula menor tuvieron un efecto del procesamiento térmico mayor, debido a que las ondas electromagnéticas de microondas tienen una mayor movilidad para atravesar el producto y por lo tanto tener una distribución más homogénea del calor, además de ser aquellos con los cuales los tiempos de pasteurización fueron menores comparados con los de mayor tamaño de partícula. La inactivación de la PME fue del 80% la más baja y obteniendo una inactivación del 95.75%, resultados similares a los que reporta Nikdel et al [7] (98.5% y 99.5%) usando un sistema de flujo continuo de pasteurización por microondas a temperaturas mayores de 75°C. El jugo con menor actividad residual fue aquel en el cual primero se pasteurizó y después se realizó la concentración al vacío. Esto confirma que las muestras pre-tratadas tienen una menor cantidad de agua, aumentando así el tiempo de pasteurización. Se ha visto que durante el calentamiento en microondas tipo batch, el mayor factor que limita la inactivación de la PME es la formación de "puntos calientes" que se relaciona con un calentamiento no uniforme; el cual causa que los cálculos de letalidad sean inapropiados y disminuya la eficiencia del proceso. Sin embargo, este no es el caso para jugos pasteurizados por microondas, debido a la naturaleza líquida y al calentamiento uniforme de esta clase de productos (sistemas concentrados de transferencia de calor) [1].

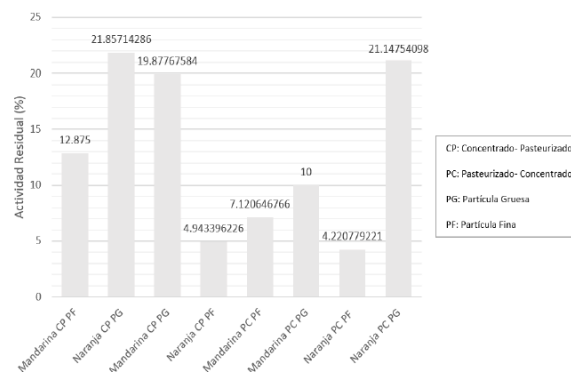


Figura 2. Actividad residual de PME.

En la Tabla 1 se muestra la variación del contenido de vitamina C durante el proceso de evaporación al vacío y pasteurización por microondas donde se observa que el tratamiento por microondas degrada menos el contenido de ácido ascórbico, a diferencia del que se concentraba primero, esto debido en su mayoría a que el tiempo de calentamiento es mayor en la evaporación, dando así suficiente tiempo para que la degradación de la vitamina sea más grande, a diferencia del calentamiento por microondas donde el calentamiento es más rápido. Demirdöven & Baysal [5] reportan valores de ácido ascórbico de jugo de naranja pasteurizado por microondas (40 ml/min, 900W) de 50.4 y 51.3 mg/100ml, teniendo como dato de control 55.4 mg/100ml, la disminución de éste valor se explica debido al incremento de la permeabilidad celular y a que la transferencia de componentes en los jugos se da más fácilmente. Vikram et al [8] investigaron los efectos de diferentes tipos de calentamientos eléctricos en la degradación de la vitamina C, y encontraron que la mayor degradación por tratamientos de microondas se debe a la temperatura no controlable del proceso y que el calentamiento óhmico fue el de mejores resultados.

	mg Ac. Ascórbico/100g de muestra		
	Sin Procesar	Concentrado	Pasteurizado
Mandarina F	58.1196	56.3584	49.5338
Naranja G	50.6345	37.4255	28.6195
Mandarina G	58.1196	41.3882	38.3061
Naranja F	50.6345	41.8285	38.7464
	Sin Procesar	Pasteurizado	Concentrado
Mandarina F	58.1196	44.03	41.3882
Mandarina G	58.1196	52.836	45.7912
Naranja F	50.6345	40.5076	35.6643
Naranja G	50.6345	41.8285	31.7016

Partícula Fina: F, Partícula Gruesa: G

**Tabla 1.** Contenido de Vitamina C.

En la Tabla 2 se observa que existen más pérdidas energéticas en aquellas corridas donde se utilizó un tamaño de partícula mayor, además de que los valores más pequeños son de los procesos en sentido inverso, debido a que la cantidad de agua a evaporar es menor a la del sentido normal, evitando así pérdidas más significativas del proceso.

En el sistema de microondas, todo el proceso se llevó a cabo usando una potencia de 1000W, los cuales, se supuso que se aprovecharon totalmente debido a que esta clase de sistemas están diseñados de tal manera que siempre se aproveche su máxima capacidad.

Concentración (W)	Pasteurización (W)	Total (w)
4796.16441 M1*	1000	5796.16441
1863.56603 N1°		2863.56603
1630.92028 M1°		2630.92028
4579.69574 N1*		5579.69574
4674.49416 M2*		5674.49416
2076.46567 M2°		3076.46567
2159.88927 N2*		3159.88927
4930.37516 N2°		5930.37516

M: Mandarina, N: Naranja, 1: Concentrado-Pasteurizado, 2: Pasteurizado-Concentrado, \*: Partícula fina, °: Partícula gruesa

**Tabla 2.** Energía gastada durante la experimentación.

## CONCLUSIONES

Se demostró la eficacia de la pasteurización por microondas aplicada a diferentes jugos cítricos, obteniendo un efecto térmico menor en los componentes de calidad en los jugos cítricos que aquellos tratados normalmente, como se ve al realizar un pretratamiento de concentración. Un proceso de pasteurización por microondas, seguido por una concentración al vacío es una buena alternativa para la industria, debido a la disminución de volumen en el transporte, además de evitar pérdidas en tiempos de limpieza que tienen repercusiones económicas a nivel mundial. A nivel experimental, los gastos energéticos de estos dos procesos demostraron un ahorro energético en comparación en aquellos donde se realizaron con intercambiadores de calor de placas, según los resultados presentados por Tajchakavit & Ramaswamy [9]. Se propone un estudio posterior donde se observe el efecto contiguo de estos dos procesos en almacenamiento, para tener un seguimiento de las ventajas de estas tecnologías emergentes.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero de los siguientes proyectos, para la realización de este trabajo:

- DGAPA PAPIME PE204917
- PIAPI FESC 1650

## REFERENCIAS

- [1] Aghajanzadeh, S., y Ziaifar, A.M. (2018). Trends in Food Science & Technology, 71, 1-12.
- [2] Wei, X., Song, M., Chen, C., Tong, H., Liang, G., y Gmitter Jr, F.G. (2014). Juice volatile composition differences between Valencia orange and its mutant Rohde Red Valencia are associated with carotenoid profile differences. Food Chemistry, 245, 223-232.
- [3] Agcam, E., Akyildiz, A., y Akdemir E.G. (2014). Effects of PEF and heat pasteurization on PME activity in orange juice with regard to a new inactivation kinetic model. Food Chemistry, 165, 70- 76.
- [4] Esteve, M.J., Frígola, A., Rodrigo, C., y Rodrigo, D. (2005). Effect of storage period under variable conditions on the chemical and physical composition and colour of Spanish refrigerated orange juices. Food and Chemical Toxicology, 43(9), 1413-1422.
- [5] Demirdöven, A., y Baysal, T. (2016). The Use of Ultrasound and Combined Technologies in Food Preservation. Ukrainian Food Journal, 5, 248-411.
- [6] Kimball, D. (2002). Procesado de Cítricos. Acribia, Zaragoza.
- [7] Nikdel, S., Chen, C., Parish, M., Mackellar, M., y Friedrich, L. (1993). Pasteurization of citrus juice with microwave energy in a continuous-flow unit. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 41, 2116-2119.
- [8] Vikram, V. B., Ramesh, M. N., y Prapulla, S.G. (2005). Thermal degradation kinetics of nutrients in orange juice heated by electromagnetic and conventional methods. Journal of Food Engineering, 69, 31- 40.
- [9] Tajchakavit, S., y Ramaswamy, H. (1997). Continuous-flow microwave inactivation kinetics of pectin methyl esterase in orange juice. Journal of Food Processing and Preservation, 21, 365- 378.

## COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE MEZCLAS: HARINA DE TRIGO-ALMIDÓN NATIVO DE BANANO CAVENDISH DESTINADAS PARA PANIFICACIÓN

Oscar Contreras Dioses<sup>1</sup>, Lady Quezada Correa<sup>1</sup>, Fabián Cuenca Mayorga<sup>1</sup>,  
Doménica Martínez Fernández<sup>1</sup>, María Bernarda Ruilova Cueva<sup>2</sup>, Edison Omar Martínez\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica de Machala - Ecuador,

<sup>2</sup>Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador

emartinez@utmachala.edu.ec, bernardaruilova@gmail.com

### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento reológico de mezclas de harina de trigo-almidón nativo de banana Cavendish, destinado para panificación. Las técnicas utilizadas para los análisis físico-químicos de las materias primas, fueron los métodos AOAC (2005); y la determinación de los índices reológicos, se realizó a través del Mixografo de Chopin®, según norma ICC – 173 (2006). Se evaluaron tres tratamientos de mezclas de harina de trigo/ almidón nativo de banana Cavendish en proporciones: 85/15 (T1), 70/30 (T2) y 55/45 (T3), y un tratamiento control 100/0 (T0). El perfil reológico lo comprendieron los índices de: absorción de agua, amasado, fuerza de gluten, viscosidad, resistencia de la amilasa e índice de retrogradación. Según los resultados, sustituciones de harina de trigo por almidón de banana no deberán sobrepasar el 30 %, para que las características reológicas de las masas destinadas para panificación no se afecten significativamente ( $p \geq 0,05$ ).

**PALABRAS CLAVE:** almidón, harina de trigo, mixografía, propiedades reológicas

### ANTECEDENTES

Los alimentos mayormente demandados a nivel mundial son aquellos elaborados a partir de la harina de trigo como por ejemplo las pastas alimenticias y el pan. El pan es uno de los productos más importantes de la canasta básica en el Ecuador. Sin embargo, la producción de trigo en el país es muy pequeña, solo se produce el 2 % (500 000 toneladas) del total que el Ecuador importa anualmente para satisfacer la demanda nacional [1]. Se han reportado investigaciones acerca de la sustitución parcial de la harina de trigo por otras fuentes sucedáneas en la elaboración de alimentos [2]. A las mezclas de diferentes harinas o materiales amiláceos se les denomina "Harinas Compuestas". Según indica la FAO, se denomina harinas compuestas a aquellas mezclas formuladas para elaborar productos farináceos, los cuales pueden o no contener harina

de trigo. Alimentos obtenidos a partir de harinas compuestas, deberán mantener las condiciones reológicas, mecánicas y atributos sensoriales similares a los tradicionales, con el propósito de que los consumidores no los rechacen luego de su degustación. En la actualidad, el desarrollo agroindustrial está direccionado en brindar, entre otros aspectos, valor agregado a los alimentos a través de la inclusión de nuevas materias primas o insumos.

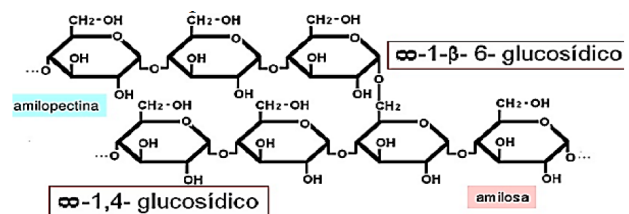


Figura 1. Estructura de Almidón, amilosa-amilopectina

El principal componente de las harinas es el almidón, el cual, a su vez, está formado por dos moléculas (figura 1): amilosa y amilopectina [3]. La amilosa está constituida por moléculas de glucosa unidas entre ellas por enlace glucosídicos  $\alpha(1-4)$  dando lugar a una cadena de estructura lineal. Por otro lado, la amilopectina forma una estructura ramificada mediante la unión de moléculas de glucosa con enlaces  $\alpha(1-4)$  y  $\alpha(1-6)$  [4]. El banano posee un alto contenido en almidón [5], constituyéndose en una materia prima o insumo con alto potencial de utilización en la elaboración de alimentos que demanden de este hidrato de carbono como matriz o insumo. Ecuador es uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial, lo que garantiza una elevada producción de almidón a bajo costo

La reología es la ciencia de las materias deformables y sus propiedades están en relación con el esfuerzo, fatiga y deformación con el tiempo [6]. Permite pronosticar el comportamiento de los distintos tipos de harinas para su uso en los diferentes procesos tecnológicos de elaboración de productos alimenticios. También accede a evaluar el comportamiento de una harina o mezcla de harinas, sometidas al amasado y a procesos de calentamiento y enfriamiento. Con la finalidad de evaluar este comportamiento se han desarrollado diversas técnicas instrumentales, tales como aquellas basadas en pruebas de torsión y tensión. Estas técnicas son efectivas para determinar propiedades físicas fundamentales [7]. En este sentido, en el mercado existen diferentes equipos de medición que permiten la determinación de las características reológicas de las harinas como el Farinógrafo, Mixógrafo, Alveógrafo, Amilógrafo [8]; [9]; [10], y así tener información acerca del posible comportamiento durante el proceso tecnológico de elaboración de masas sometidas a elevadas temperaturas [11]. Recientemente, la firma Chopin Technologies Co., desarrolló un nuevo instrumento capaz de medir las propiedades reológicas de las masas a partir de harinas, denominado Mixolab® o mixógrafo. Este equipo mide en tiempo real el torque (Newton metro) producido durante el amasado, de la harina o harina compuesta, con el agua registrándose la variación del esfuerzo durante las etapas programadas por el protocolo experimental diseñado por el fabricante que se relacionan con importantes propiedades, desarrollo de la masa, absorción de agua, el índice de amasado, el índice de gluten, la viscosidad, la resistencia a la amilosa y el índice de retrogradación [12].

## OBJETIVO

La investigación tuvo como objetivo fundamental determinar el comportamiento reológico de las mezclas harina de trigo (*Triticum durum*) – almidón nativo de banano Cavendish (*Musa sapientum*), destinadas para panificación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima. El almidón se obtuvo a partir de 200 kg de banano verde de la variedad Cavendish con el grado óptimo de exportación (18 cm de largo y 44 mm de calibre) por vía húmeda [13]. Ésta consiste en pesar, eliminar la cáscara y cortar en rodajas el fruto, las que inmediatamente deben ser sumergidas en solución de ácido ascórbico al 3 % (m/v). Posteriormente, se sometió a molienda en húmedo, en una licuadora marca SKYMSEM modelo LAR-15/25 a 300 rpm. A continuación, se cribó sucesivamente en tamices calibre: 0,841; 0,149 y 0,047 mm. Luego de aproximadamente 4 horas de reposo de la solución, se decantó y separó el almidón precipitado. Inmediatamente, se realizó el secado en una estufa marca MEMMERT modelo VN 6400, a temperatura de 55 °C, en un tiempo de 72 horas [14]. La harina de trigo fue adquirida a la empresa "SUPERIOR S.A". Los métodos utilizados en el análisis físico - químico proximal de las materias primas se detallan en la Tabla 1.

ANÁLISIS	MÉTODOS AOAC
Humedad	( método 925.10)
Cenizas	(método 923.03)
Proteínas	(método 920.87)
Grasa cruda	(método 920.85)

**Tabla 1.** Métodos utilizados en el análisis de harina trigo/almidón nativo de banano.

Ensayo experimental. Se analizaron 3 unidades experimentales T1, T2 y T3, con tres repeticiones cada una. Cada unidad experimental fue la mezcla entre harina de trigo y almidón nativo de banano, apareadas a una muestra control T0 (Tabla 2). Ésta última muestra, sin sustitución parcial en su composición, presentó las características típicas de una harina co-

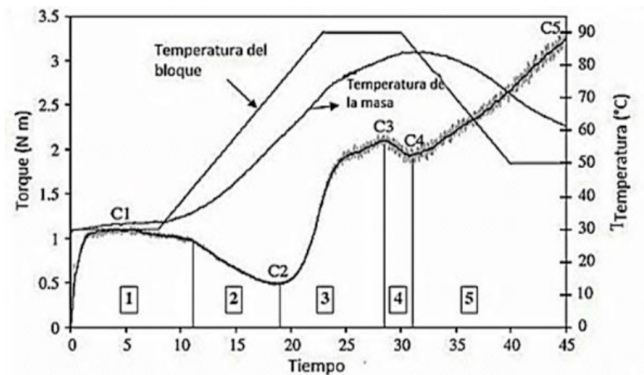
múnmente usada en la elaboración de productos derivados de la panificación, ergo la relevancia de comparaciones entre ésta y las unidades experimentales propuestas.

Tratamiento	Mezclas %
T0	100 HT – 0 AB
T1	85 HT – 15 AB
T2	70 HT – 30 AB
T3	55 HT – 45 AB

HT – Harina de trigo; AB – Almidón nativo de banano

**Tabla 2.** Tratamiento de harina de trigo y almidón nativo de banano.

Pruebas reológicas. Se utilizó el método Mixolab Chopin, norma ICC- 173 [12]. Al aplicar este método, la harina atraviesa por cinco etapas diferentes. En la primera etapa de mezclado, se miden las características: estabilidad, elasticidad y absorción de agua. En la segunda etapa de mezclado, la masa experimenta el torque máximo del mixógrafo y se mide la deformación alcanzada en un tiempo determinado, es un indicador del debilitamiento de la proteína. A mayor caída de la consistencia, menor calidad de la proteína, pues la misma no resiste el cizallamiento del mezclado. En la tercera etapa se produce la gelatinización, los gránulos de almidón se hinchan debido a la absorción de agua, ocurriendo la lixiviación de moléculas de amilosa, las que contribuyen a incrementar la viscosidad. En la cuarta etapa, la consistencia disminuye como resultado de la enzima amilasa. Esta disminución dependerá de la actividad amilolítica. La quinta etapa, con la disminución de la temperatura, se observa un aumento de la consistencia como resultado de la formación de gel y/o retrogradación. Los parámetros analizados fueron: índice de absorción de agua, índice de amasado, índice de fuerza de gluten, índice de viscosidad, índice de resistencia a la amilasa e índice de retrogradación. Estos análisis son representados mediante la curva típica de Mixolab donde la harina toma valores de índices de cero a nueve [15], como se representa en la figura 2.



**Figura 2.** Curva estándar de Mixolab de Chopin [15].

Los resultados fueron procesados utilizando el paquete estadístico SPSS versión 19.0. Se calculó el análisis de varianza y prueba post hoc por el método de Tukey. Todas las corridas experimentales fueron realizadas por triplicado, señalando los valores de significancia  $p < 0,05$  ( $X/DS$ ,  $n=3$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento y composición físico – química del almidón. El rendimiento en almidón fue de 65,79 %, el cual presentó valores cercanos a los que indican otras investigaciones [14]; [16], las que estuvieron por el orden del 70 %. El método de extracción de almidón por vía húmeda fue correctamente desarrollado, debido a que la sumatoria del contenido de grasa, proteína y cenizas no superó el 2 %; este comportamiento se ha replicado en almidones de otras Musáceas [17], como es el caso de *Musa paradisaca* L. La composición físico - química de la harina de trigo (*Triticum durum*) presentó valores (Tabla 3) que están dentro de los límites establecidos por la norma (NTE INEN 616, 2015)

Muestra	Almidón nativo de banano ( <i>Cavendish</i> )	Harina de trigo ( <i>Triticum durum</i> )
Humedad	9,32 (0,90)	12,00 (0,08)
Grasa	0,44 (0,03)	0,81 (0,05)
Proteína	0,86 (0,07)	12,54 (0,13)
Cenizas	0,63 (0,01)	0,63 (0,04)

Valor informado corresponde a media y desviación estándar ( $n=3$ ).

**Tabla 3.** Composición físico – química de almidón nativo de banano y harina de trigo.



### Propiedades reológicas

IAA, Índice de absorción de agua. IAM, Índice de amasado. IFG, Índice de fuerza de gluten. IVA, Índice de viscosidad, IRA, Índice de resistencia a la amilasa. IRE, Índice de retrogradación. Valor informado corresponde a media y desviación estándar (n=3). Existe diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) para valores con distinta letra en cada columna.

En la tabla 4 se puede notar que, el Índice de Absorción de Agua (IAA), en la sustitución parcial de harina de trigo por almidón nativo de banano Cavendish, no se afecta, ya que no se mostraron diferencia significativa ( $p \geq 0,05$ ) entre los tratamientos y el control. Los valores reportados presentan similitud con la investigación realizada por Sandoval, 2011[18], quien indicó valores de IAA de 7; en ambos estudios se utilizaron el mismo método de análisis.

Tratamiento	IAA	IAM	IFG	IVA	IRA	IRE
T0	7,25 <sup>a</sup> (0,50)	4,50 <sup>a</sup> (0,55)	2,45 <sup>a</sup> (0,05)	2,25 <sup>a</sup> (0,50)	2,75 <sup>a</sup> (0,50)	2,75 <sup>a</sup> (0,50)
T1	7,23 <sup>a</sup> (0,40)	4,45 <sup>a</sup> (0,45)	2,41 <sup>a</sup> (0,04)	2,75 <sup>ab</sup> (0,50)	3,25 <sup>a</sup> (0,50)	3,50 <sup>ab</sup> (0,45)
T2	7,22 <sup>a</sup> (0,55)	4,43 <sup>a</sup> (0,30)	1,60 <sup>b</sup> (0,01)	3,25 <sup>b</sup> (0,20)	4,50 <sup>b</sup> (0,57)	4,50 <sup>bc</sup> (0,47)
T3	7,20 <sup>a</sup> (0,57)	4,50 <sup>a</sup> (0,60)	1,25 <sup>c</sup> (0,02)	4,50 <sup>c</sup> (0,20)	5,75 <sup>c</sup> (0,50)	5,50 <sup>c</sup> (0,57)

**Tabla 4.** Comportamiento reológico de mezclas: harina de trigo/almidón de banano.

El índice de amasado (IAM) no presentó diferencia significativa ( $p \geq 0, 05$ ) entre los tratamientos estudiados, lo que significó que al adicionar almidón de banano la consistencia de la mezcla no se debilitó. Según los resultados, el contenido en proteína de la harina de trigo mantiene condiciones favorables en el amasado de una mezcla sustituida hasta un 45 % de por almidón nativo de banano Cavendish.

La sustitución hasta 15 % de almidón de banano no afecta significativamente ( $p \geq 0,05$ ) el índice de fuerza de gluten (IFG), en relación con el tratamiento control; sin embargo, sustituciones a partir del 30 % se ven afectadas. Esto se debe a que el contenido de proteína de la mezcla sufre el efecto de dilución al añadir almidón.

En el proceso de panificación este índice influye sobre la capacidad de retención del gas producido en el leudo de la masa. Cuando la masa alcanza temperaturas

superiores a los 50 °C, se produce el aumento en su viscosidad, provocado por el hinchamiento de los gránulos de almidón, que es una manifestación de la energía interna alcanzada por las moléculas de agua enlazadas por puentes de hidrogeno con el grupo funcional del hidrato de carbono.

Este índice está asociado con la interacción proteína – proteína del *Triticum durum* y las interacciones almidón – almidón y almidón – proteína. El Índice de viscosidad (IVA) presenta diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) a partir del 30 % de sustitución. Según los resultados, el Índice de resistencia a la amilasa (IRA), se presenta directamente proporcionales al IVA, esto se debe a la baja actividad amilolítica que presenta la masa, lo que provoca el rompimiento de cadenas de amilosa en fragmentos más pequeños, disminuyendo la viscosidad de la masa.

Asimismo, En la Tabla 4 se puede notar que el IRA experimenta diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) a partir del T2. El Índice de retrogradación (IRE) se evaluó en la etapa final del amasado, es decir, se determinó cuando la masa alcanzó la máxima consistencia producida por la formación del gel. El IRE, predice la vida de anaquel de derivados amiláceos [19], debido a la determinación de la insolubilización y precipitación de las moléculas de amilosa, principalmente. En la Tabla IX se puede observar, que existe un comportamiento directamente proporcional, entre el porcentaje de almidón nativo de banano en las mezclas y el IRE.

## CONCLUSIÓN

Según los resultados, sustituciones parciales de harina de trigo por almidón de banano, no deberán sobrepasar el 30 % para que las características reológicas de las masas, destinadas para panificación, no difieran significativamente del comportamiento de las masas tradicionales.

## REFERENCIAS

- [1] Carvajal, V. (27 de octubre de 2011). Comunidad de Comercio Exterior en Ecuador. Obtenido de Comunidad de Comercio Exterior en Ecuador: <http://comunidad.todocomercioexterior.com.ec/profiles/blogs/importacion-de-trigo>
- [2] Vásquez, F., Verdú, S., Islas, A., Barat, J., & Grau, R. (2016). Efecto de la sustitución de harina de trigo con harina de quinoa (*Chenopodium quinoa*) sobre

las propiedades reológicas de la masa y texturales del pan. *Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 12.

[3] Prieto, J., Prieto, F., & Trejo, C. (2010). Acetilación y caracterización del almidón de cebada. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12.

[4] Huang, M., Yu, J., & Ma, X. (2005). Ethanolamine as a novel plasticiser for thermoplastic starch. *Science Direct*, 7.

[5] Martínez, E. (2015). Caracterización morfológica y contenido de almidón resistente y disponible en bananos (*Musa sapientum*) exportables del Ecuador. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 7.

[6] Santo, V., Benassi, M., Visentair, J. y Matioli, G. (2011). Quinoa and Flaxseed: Potential ingredients in the production of bread with functional quality. *Brazilian Archives Biol. & Technol*, 981-986.

[7] Jiménez, G. (2007). Comunicación personal gerente de producción. Santiago de Chile: Empresa Lucchetti Chile S.A.

[8] Campos, D., Steffe, J., & Perry, K. (1997). Rheological behaviour of undeveloped and developed wheat dough. *Cereal Chem*, 489-494.

[9] Dobraszczyk, B., & Morgenstern, M. (2003). Rheology and the breadmaking process: review. *Cereal Sci. J.*, 229-245.

[10] Zaidel, D., Chin, N., & Yusof, Y. (2010). A review on rheological properties and measurements of dough and gluten. *Appl. Sci. J.*, 2478-2490.

[11] Zounis, S., & Quail, K. J. (1997). Predicting test bakery requirements from laboratory mixing tests. *Cereal Sci. J.*, 185-196.

[12] CHOPIN Technologies. (Julio de 2009). Mixolab applications handbook. Obtenido de Mixolab applications handbook: [http://www.chopin.fr/media/applications/091023\\_Mixolab\\_appli\\_EN.pdf](http://www.chopin.fr/media/applications/091023_Mixolab_appli_EN.pdf)

[13] Bello, L., Sánchez, M., Núñez, C., Rodríguez, S., & Román, A. (2010). Effect of the pearled in the isolation and the morphological, physicochemical and rheological characteristics of barley starch. *Science Direct*, 2.

[14] Martínez, O., Lapo, B., Pérez, J., Zambrano, C., & Maza, F. (2015). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador, 2-3. NTE INEN 616. (2015). Norma Técnica Ecuatoriana.

[15] Hadnadev, T., Torbica, A., & Hadnadev, M. (2011). Rheological properties of wheat flour substitutes/alternative crop assessed by Mixolab. *Proc. Food Sci.*, 328.

[16] Amaya, C., Osorio, F., Agama, E., Yee, H., & Bello, L. (2011). Physicochemical and digestibility properties of double-modified banana (*Musa paradisiaca* L.) starches. *Agric. Food Chem. J.*, 1376-1382.

[17] Bello, L. (2002). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (var. Macho). *Agro Ciencia*, 169-180.

[18] Sandoval, G. (2011). Desarrollo de mezclas farináceas de cereales (maíz, quinua y cebada) y papas ecuatorianas como sustitutos parciales del trigo importado para la elaboración de pan y fideos. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

[19] Quintong, A., & Tenesaca, J. (2013). [dspace.espol.edu.ec](http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/25405/TEISIS%20RETROGRADACI%C3%93N%20PAN%20MOLDE%20BLANCO%20TENESACA%20%26%20QUINTONG.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/25405/TEISIS%20RETROGRADACI%C3%93N%20PAN%20MOLDE%20BLANCO%20TENESACA%20%26%20QUINTONG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA EN UN REACTOR ANAEROBIO DE TIPO UASB

Valeria Loredo Callejas<sup>1</sup>, María Teresa Torres Mancera<sup>1</sup>, Alejandra Villegas Pañeda<sup>2</sup>,  
Cesar González Guerrero<sup>2</sup>, Leydi Rubi Pérez Vera<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniería Ambiental, Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco,

<sup>2</sup>Departamento de Tecnología Ambiental, Unidad de Investigación Multidisciplinaria,  
Facultad de Estudios Superiores Acatlán

[rubiley@yahoo.com.mx](mailto:rubiley@yahoo.com.mx), [valery\\_skiny@hotmail.com](mailto:valery_skiny@hotmail.com)

### RESUMEN

La Actividad Metanogénica Específica (AME) es una importante herramienta para el monitoreo de la digestión de un lodo anaeróbico, es un parámetro clave que determina la eficiencia del tratamiento en un reactor UASB (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente), permite cuantificar la máxima capacidad de producción de metano por el grupo de microorganismos presentes en los lodos anaerobios. Este trabajo se realizó con la finalidad de conocer la actividad metanogénica en el reactor anaerobio de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la FES Acatlán, el estudio de cuantificación de AME se llevó a cabo mediante un método volumétrico. En este estudio se observó el comportamiento de las arqueas metanogénicas del lodo anaerobio (inóculo) y se determinó la AME a una altura de 6 m del reactor UASB.

**PALABRAS CLAVE:** Actividad Metanogénica Específica AME, Inóculo, Reactor de flujo ascendente UASB.

### ANTECEDENTES

La planta de tratamiento de aguas residuales de la FES-Acatlán cuenta con un sistema biológico combinado Anaerobio-Aerobio como parte del tren de tratamiento, mismos que son los encargados de llevar a cabo la degradación de la materia orgánica. El sistema anaerobio está constituido por un reactor del tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) o reactor anaerobio de cama de lodos de flujo ascendente, en este reactor el agua residual se introduce por el fondo y durante el proceso de emergencia del agua y al atravesar la cama de lodo, se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica constituida principalmente por proteínas, carbohidrato, lípidos y demás macromoléculas.

El reactor UASB es particularmente apto para tratar aguas residuales industriales con elevada carga orgánica. Sin embargo, puede aplicarse en aguas de menores concentraciones de materia orgánica, como es el caso de los efluentes municipales. El agua tratada por esta

tecnología puede utilizarse, en algunos casos, en riego o puede ser evacuada al cumplir con la normatividad vigente. Dentro de diversas tecnologías anaerobias para el tratamiento del agua residual, es el reactor tipo UASB el que ha tenido mayor aceptación debido a los menores costos de inversión y a sus instalaciones compactas. Debido al metabolismo de los microorganismos involucrados, los procesos anaerobios no exigen oxígeno (no se tiene el consumo eléctrico asociado con la aireación), se genera la menor cantidad de lodo (residuos sólidos) posible en un sistema de tratamiento de agua y se obtiene un subproducto con alto valor energético como lo es el biogás, susceptible de ser aprovechado.

El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un reactor de biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altu-

ra se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  [1].

La Actividad Metanogénica Específica (AME) permite cuantificar la máxima capacidad de producción de metano por el grupo de microorganismos presente en lodos anaerobios. La AME, además de ser usada para el monitoreo de la calidad del lodo en reactores anaerobios, es una herramienta que evalúa el comportamiento de la biomasa contaminada y determina la carga orgánica máxima que puede aplicarse a un sistema, con el fin de examinar la degradabilidad de los sustratos y la posibilidad de selección de inóculos. Esta herramienta, ampliamente utilizada en diferentes países y desarrollada hace más de dos décadas, no cuenta con un protocolo estandarizado que facilite la comparación de resultados [2].

### OBJETIVOS GENERALES

Verificar la existencia de Actividad Metanogénica Específica en el reactor tipo UASB de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la FES Acatlán.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar prototipo que permita realizar la medición de la Actividad Metanogénica Específica.
- Realizar caracterización del inóculo.

### PARTE EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo la determinación de la actividad metanogénica específica (AME) se diseñó un dispositivo o prototipo y se caracterizó el inóculo.

El prototipo es el que se muestra en la figura 1, donde se coloca una solución de hidróxido de sodio al 3 %, en el recipiente que se encuentra elevado, en el recipiente inferior se coloca una mezcla del inóculo (El inóculo es extraído (ver Figura 2) a una altura de 6 metros con un nucleador), más agua cruda (agua de alimentación), ambos recipientes se encuentran conectados por un sistema de perfusión por donde viajara el gas generado en el recipiente inferior, y se almacenará en la parte superior del recipiente que contiene el hidróxido de sodio, a medida que la generación de metano se incrementa, el gas desplazará la solución de NaOH y será depositada en un recipiente, el desplazamiento del

líquido se cuantifico en lapsos de tiempo determinados para generar un gráfico de metano acumulado (mL) vs tiempo. Las condiciones ambientales de experimentación fueron Temperatura 26-28 °C y Humedad relativa de 30 a 42 %.

El biogás producido es una mezcla de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y N constituye un parte importante de este gas, para la medición por método volumétrico debe eliminarse haciendo pasar el biogás por una solución de Hidróxido de sodio en la cual el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{H}_2\text{S}$  son absorbidos en el medio básico por formación de carbonatos y sulfuros respectivamente así el  $\text{CH}_4$  alcanza el espacio libre del recipiente de medición, desplazando un volumen equivalente del líquido, el cual es captado por medio de una probeta graduada

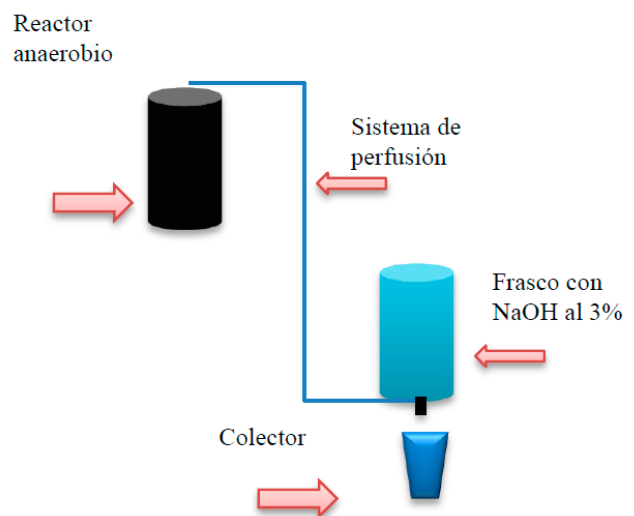


Figura 1. Prototipo para Actividad Metanogénica Específica.

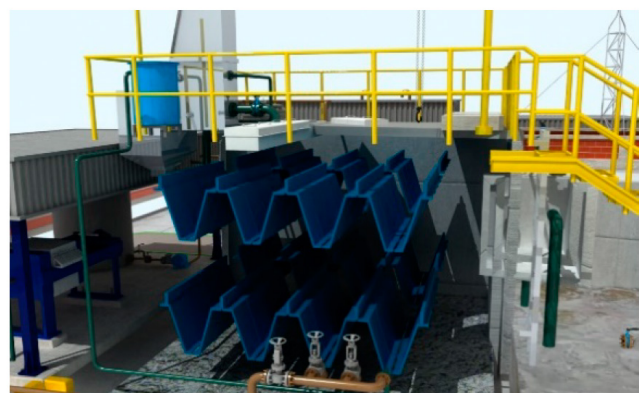


Figura 2. Extracción de lodo anaerobio

### Caracterización del inóculo.

En la caracterización microbiológica del inóculo, se realizó la determinación de Salmonella Shigella y Echerichia coli con métodos cualitativos. Coliformes fecales mediante la Técnica de conteo rápido en placas de Neo Film, se determinaron Huevos del Helminto en el efluente del Reactor Anaerobio y en el Inóculo.

### Caracterización fisicoquímica.

La medición de pH se realizó con un potenciómetro Thermo Scientific, ORION 4 STAR, la temperatura del inóculo con un termómetro convencional.

La DQO se determinó mediante un método colorimétrico, y la digestión se llevó a cabo en el Thermoreactor a una temperatura de 150° C durante 120 min., usando el método del Standard methods of examination of water and wastewater (APHA, 2005).

La concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos suspendidos totales (SST) del inóculo se han determinado de acuerdo con el método 2540E, Standard methods of examination of water and wastewater (APHA, 2005). Para la concentración de Analitos (Cu, Fe, Cr, Ca, Na, Mn, Mg), se utilizó un método interno con la técnica de espectroscopia de absorción atómica en el AAnalys 800.

Caracterización fisicoquímica	
Parámetro	Resultado
pH	8.02
T °C	25
Conductividad µS/cm	2363
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.2
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	312000-35900
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	17800-21000
DQO (mg/L)	177-273
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	560
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	165
Caracterización microbiológica	
Salmonella Shigella	Presencia
Echerichia coli	Presencia
Coliformes totales (UFC/100 mL)	4 000 000
Huevos de helmito	1

**Tabla 1.** Caracterización fisicoquímica y microbiológica del inóculo.

Analitos AA	
Fe (ppm)	238.21
Cu (ppm)	12.87
Cr (ppm)	No detectado
Ca (ppm)	457.32
Na (ppm)	224.99
Mg (ppm)	200.34
Mn (ppm)	No detectado

**Tabla 2.** Resultados de Espectroscopia de absorción atómica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización del inóculo y el ensayo de actividad metanogénica específica nos arrojaron los siguientes resultados.

La caracterización del inóculo del reactor de la Planta de Tratamiento de aguas Residuales de la FES Acatlán se muestra en la Tabla 1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica del inóculo y Tabla 2. Resultados de Espectroscopia de absorción atómica.

La Actividad Metanogénica Específica se calculó mediante la ecuación siguiente:

$$AME \frac{\text{g DQO}}{\text{g SSV} \cdot \text{D}} = \frac{\text{m} \cdot 24}{\text{FC} \cdot \text{V} \cdot \text{SSV}} \quad (1)$$

donde:

AME: Actividad Metanogénica Específica.

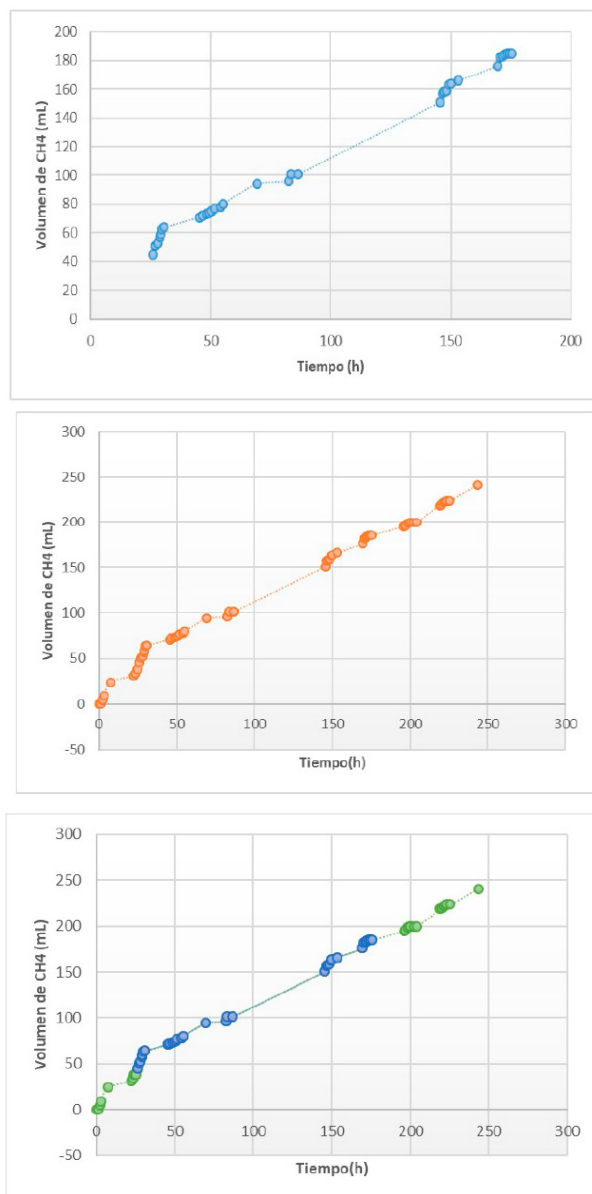
FC: Factor de Conversión que expresa que 1g de DQO= 0,382 L de CH<sub>4</sub>.

m: pendiente del grafico de producción acumulada de CH<sub>4</sub> en función del tiempo (CH<sub>4</sub>/h).

SSV: Concentración de Sólidos Suspendidos Volátiles del inóculo (g/L).

V: Volumen efectivo líquido en el digestor (L)

En la cinética de producción de metano (Figura 3) del Inóculo, se observó una producción acumulada del gas 243 mL en 10 días de experimentación, equivalente a 24.3 mL/día. La actividad metanogénica permite evaluar la población microbiana metanogénica en el inóculo y su actividad metabólica frente a determinado sustrato para su conversión a metano [3]. En este estudio se cuantificaron rangos de 0.013 a 0.40 g DQO CH<sub>4</sub>/gSSV\*d como AME del inóculo, estando dentro del rango que establece la literatura para este tipo de reactores.



**Figura 3.** Cinética de producción de metano a través del tiempo.

## CONCLUSIONES

Se logró implementar un prototipo para observar la actividad metanogénica específica como una herramienta eficiente para el monitoreo de la degradación de la materia orgánica en el reactor tipo UASB.

Se corroboró la existencia de actividad metanogénica en el reactor anaerobio mediante el método volumétrico, sin embargo, existe una baja producción de metano, aunque de igual manera, se encuentra dentro de los límites establecidos.

La caracterización del inóculo señala que no necesita de micronutrientes y macronutrientes para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Departamento de Ingeniería Ambiental del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, al Departamento de Tecnología Ambiental y a la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán por las facilidades para realizar este proyecto.

## REFERENCIAS

- [1]. Caicedo, F.J. Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B piloto para el tratamiento de lixiviados. 2006.
- [2]. Lozada, P. T., & Pérez, A. (2010). Actividad metanogénica específica: una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales. Colombia: Ingeniería de Recursos Naturales y del ambiente.
- [3]. Fernández, M., Abalos, A., Crombet, S., Caballero, H. (2010). Ensayos de biodegradabilidad anaerobia de aguas residuales generadas en una planta refinadora de aceite de soja. *Interciencia*, 35(8), 600-604.

## ALGORITMO DE ACTUACIÓN FARMACÉUTICA ENFOCADO A LA PREVENCIÓN DE INTERACCIONES FARMACOLÓGICAS Y MONITORIZACIÓN DE TOXICIDAD DEL METROTEXATO EN CÁNCER

Felipe Rodríguez Islas<sup>1</sup>, Arturo Iván Ríos Arroyo<sup>1</sup> Guillermo Barranco Castañeda<sup>1,2</sup>, Omar Gonzáles Marcos<sup>1,2</sup>, Miguel Trejo Rodríguez\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>2</sup>The American British Cowdray Medical Center I.A.P. Departamento de Farmacia Hospitalaria y Clínica,

\*Coordinación de la Licenciatura en Farmacia, Farmacia Clínica

[arturo.ivan13@gmail.com](mailto:arturo.ivan13@gmail.com), [memobarcomunidad.unam.mx](mailto:memobarcomunidad.unam.mx),  
[farmacocinetica2014@gmail.com](mailto:farmacocinetica2014@gmail.com), [migueltrejolf@gmail.com](mailto:migueltrejolf@gmail.com)

### RESUMEN

El Metrotexato (MTX) es un medicamento usado como antineoplásico, con amplia variedad de indicaciones en tumores sólidos y enfermedades hematológicas, donde la dosis prescrita puede ser baja (<50 mg/m<sup>2</sup>), moderada (50-100 mg/m<sup>2</sup>) o alta (>1000 mg/m<sup>2</sup>), lo que ha condicionado la implementación de consideraciones que se apliquen para su correcto uso evitando la aparición de toxicidad que comprometa el éxito terapéutico o la integridad del paciente, el propósito de este trabajo es crear un algoritmo de actuaciones para dar un uso racional MTX que evite interacciones farmacológicas, Problemas Relacionados a la Medicación, Resultados Negativos a la Medicación y la aparición de efectos tóxicos, esto se realiza mediante la revisión bibliográfica en medios especializados donde se identifican las principales interacciones farmacológicas, contraindicaciones, precauciones y efectos tóxicos de mayor relevancia clínica, se han encontrado condiciones clínicas que limitan su uso, donde la relevancia de la monitorización de las funciones hepáticas, renales, pulmonares son de vital importancia para un uso racional del MTX.

**PALABRAS CLAVE:** Metrotexato, Cáncer, Algoritmo de decisiones, Actuación Farmacéutica, Interacciones, Toxicidad.

### ANTECEDENTES

El Metrotexato (MTX) es un antimetabolito antagonista del folato que tiene propiedades antiinflamatorias e inmunomoduladoras utilizado en el tratamiento de una amplia gama de dosis para una amplia gama de indicaciones terapéuticas a través de diferentes especialidades como enfermedades neoplásicas, psoriasis severa y artritis reumatoide en adultos, donde las dosis de administración son diferentes para cada caso [1] [3]. Inhibe al dihidrofolato reductasa (DHRF) que actúa

reduciendo al ácido fólico a tetrahidrofolato antes de que puedan utilizarse como portadores de grupos de un carbono en la síntesis de nucleótidos y timidilato. Por lo tanto, el MTX interfiere en la síntesis, reparación y replicación celular del ADN al tener mayor afinidad por la DHRF que el ácido fólico [2]. La absorción parece ser dependiente de la dosis donde los niveles séricos máximos en adultos se alcanzan en 1-2 horas y puede disminuir en dosis altas, posiblemente a un efecto de saturación [1].

Su distribución es de 0.4-0.8 L/kg, se une aproximadamente un 50% a proteínas y su principal metabolito es la 7-hidroximetotrexato y como metabolitos secundarios a poliglutamatos que se forman intracelularmente. Estos son tan potentes como el MTX en su efecto citotóxico, su producción depende de la dosis administrada, así como el tiempo de administración, dichos poliglutamatos pueden convertirse nuevamente a MTX. Su tiempo de vida media en niños es de 1-6 horas y de 8-15 horas para adultos en terapia antineoplásica. Su eliminación es principalmente renal (80-90%) por filtración glomerular y secreción tubular activa y en menor proporción biliar (10%) a través de las heces [2]. El amplio rango de actividad tumoral observado en MTX se refleja en la gran cantidad de afecciones malignas [3]. Por lo que el perfil de efectos secundarios de MTX varía notablemente según la dosis. Se usa dosis bajas (<50 mg/m<sup>2</sup>) por vía intravenosa para el tratamiento del cáncer de vejiga y de mama y tumores desmoides, y por vía oral para pacientes con leucemia de linfocitos granulares T (LGL) de células T, LLA, leucemia promielocítica aguda, Micosis fungoide y diversos trastornos inmunitarios no malignos. Dosis intermedias entre 50 y 500 mg/m<sup>2</sup>, se usan para la enfermedad trofoblástica gestacional maligna (GTD). En general, estos pacientes no requieren hidratación agresiva o alcalinización urinaria. El rescate con ácido folínico rara vez se necesita con dosis ≤250 mg/m<sup>2</sup> a menos que se encuentre toxicidad inesperada. En dosis altas (>1000 mg/m<sup>2</sup>) se usa en pacientes con leucemia y linfoma de alto riesgo y para el tratamiento de metástasis leptomenígeas, linfoma primario del SNC y osteosarcoma. Estos regímenes requieren periodos de dos a tres días con ácido folínico para contrarrestar el efecto tóxico de MTX que depende de la eliminación por parte de los riñones lo que requiere un pretratamiento agresivo, así como hidratación postratamiento y alcalinización urinaria y en donde las principales toxicidades de las altas dosis de MTX (ADMTX) son niveles elevados de transaminasas séricas, insuficiencia renal, hepática, pulmonar y hematológica. Como ocurre en muchos medicamentos contra el cáncer el MTX tiene poca selectividad para las células tumorales y su eficacia está limitada por la toxicidad para el tejido normal, particularmente el epitelio gastrointestinal (GI), médula ósea, función hepática

y renal [3][4][5]. Una evaluación previa del paciente que recibirá ADMTX es fundamental para prevenir su toxicidad y la aparición de Problemas Relacionados a la Medicación (PRM), Resultados Negativos a la Medicación (RNM), Interacciones Farmacológicas (IF), y Reacciones Adversas a la Medicación (RAM), con el objetivo de promover su uso racional, obteniendo el máximo beneficio del medicamento con la menor posibilidad de daño al paciente.

## OBJETIVO

Crear un algoritmo de actuación farmacéutica para la evaluación y prevención de la toxicidad por administración de Metrotexato mediante la revisión bibliográfica enfocada a las interacciones farmacológicas, contraindicaciones, precauciones, consideraciones clínicas previas y los principales efectos adversos a fin de evitar su manifestación y disminuir la posibilidad de aparición de efectos tóxicos que pueden contribuir al fracaso terapéutico.

## DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Buscar y clasificar información de Metrotexato en bases de datos y páginas especializadas como Micromedex (Truven Health Analytics), UpToDate (Wolters Kluwer Health, Waltham, Massachusetts, Estados Unidos) BC Cáncer Agency Drug Manual (Provincial Health Services Authority en British Columbia, Canadá) y monografías científicas de DailyMed (U.S. National Library of Medicine), y Salud Madrid (Comunidad de Madrid, Hospital Universitario de la Princesa en Madrid, España). Se analizó la información recabada identificando las principales consideraciones a seguir para la elaboración del algoritmo utilizando el programa web LucidChart (Salt Lake, Utah)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro de la elaboración del presente algoritmo (Figura 1) las consideraciones especiales a tomar en cuenta antes de la utilización de MTX son patologías en las que está contraindicada su administración (como lo muestra el punto A del algoritmo que se explica en la Tabla 1); así como mostrar las alteraciones del MTX con otros medicamentos, patologías y alteraciones que pueden suscitarse en las pruebas clínicas. Por otro lado, se efectúan recomendaciones en la vigilancia de parámetros clínicos durante la administración, puntuando las mismas en la Tabla 1.



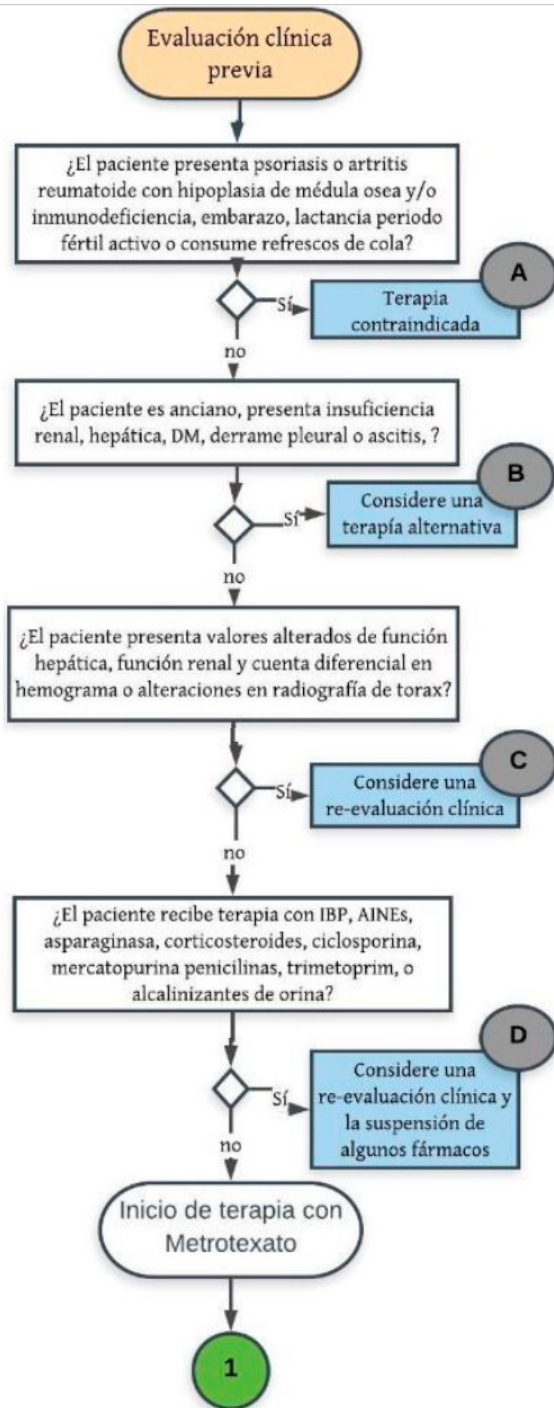


Figura 1. Algoritmo para la evaluación previa a la administración de Metotrexato

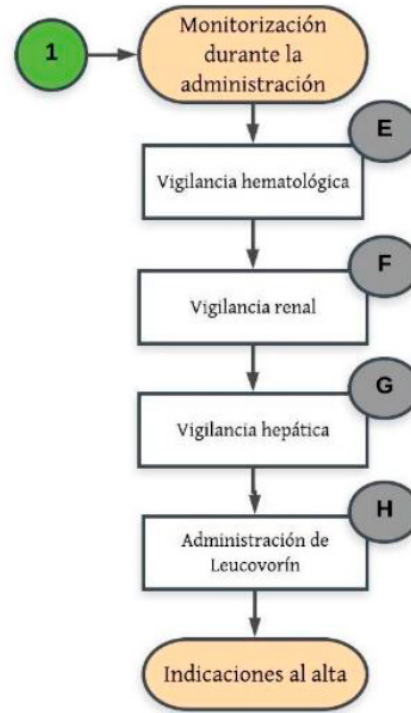


Figura 2. Algoritmo para la monitorización de Metotrexato

En la Tabla 2 se hace referencia a la duración de la infusión con ácido folínico cuando se administra ADMTX recomendando las dosis de los protocolos actuales para tratamiento de las neoplasias.

Tabla 1. Descripción de las consideraciones aplicadas a los pasos del algoritmo

Paso	Descripción
A	Los pacientes con psoriasis o artritis reumatoide con alcoholismo, hepatopatía alcohólica u otra enfermedad hepática crónica, con discrasias sanguíneas preexistentes (como hipoplasia de médula ósea, leucopenia, trombocitopenia, anemia significativa o síndromes de inmunodeficiencia no deben de recibir MTX. En mujeres embarazadas el MTX puede inducir un aborto espontáneo, especialmente si se administra en el primer trimestre, y en mujeres lactantes está contraindicado el MTX porque es detectado en la leche materna, así mismo, puede dar deterioro de la fertilidad, oligospermia y disfunción

menstrual durante un periodo corto de tiempo de cese de la terapia por lo que debe evitarse el embarazo en cualquiera de las partes mientras se reciba MTX; en varones se debe evitar por un periodo mínimo de tres meses después de la terapia y en mujeres durante y por lo menos un ciclo ovulatorio después de la terapia. El consumo de refrescos de cola impide retrasa la eliminación del MTX y, por tanto, aumenta la posibilidad de presentar toxicidad gástrica a nivel de mucosas y facilitar la adquisición de infecciones [1][2][3].

**B** Los pacientes ancianos están en mayor riesgo de toxicidad debido a la disminución de la función hepática y renal, así como la de las reservas bajas de folato. Por su parte, en derrames pleurales o ascitis el MTX sale lentamente de estos líquidos resultando en una vida media prolongada y toxicidad inesperada; el fluido debe ser eliminado antes del tratamiento con MTX, si el fluido no puede ser drenado, se recomienda una reducción de la dosis [2].

**C** Dentro de las principales toxicidades del MTX como terapia antineoplásica, se encuentran la alteración de enzimas hepáticas, de la función renal, neutropenia, trombocitopenia, leucopenia, azotemia y toxicidad pulmonar, especialmente cuando se utiliza a dosis altas y generalmente la alteración de las pruebas de laboratorio son motivo de la modificación del tratamiento [2][3].

**D** La administración de dosis altas de MTX en pacientes que reciben inhibidores de la bomba de protones (IBP) como omeprazol, esomeprazol, pantoprazol, rabeprazol y dexlansoprazol pueden elevar y prolongar los niveles séricos de metrotexato y/o su metabolito 7-hidroximetrotexato, lo que posiblemente lleve a toxicidades por interacción farmacológica entre el MTX y el IBP que aumente la posibilidad de que se presente con más frecuencia úlceras en mucosas bucales o facilitar infecciones oportunistas. Con los AINEs y salicilatos (Ketorolaco, ke-

toprofeno, naproxeno, meloxicam, ibuprofeno) elevan y prolongan los niveles séricos de MTX lo que puede resultar en muertes por toxicidad hematológica y gastrointestinal severa, mientras que a dosis bajas de MTX reducen la secreción tubular de este, por lo que pueden aumentar su toxicidad a nivel renal. Se observa disminución del efecto de MTX cuando se da asparaginasa inmediatamente antes o con MTX por lo que se recomienda dar asparaginasa 9-10 días antes o poco después de MTX. Los corticosteroides pueden disminuir la absorción de MTX en células de leucemia, por lo que se recomienda separar la administración de estos fármacos por 12 horas (excepto dexametasona). Con ciclosporina puede aumentar la toxicidad de MTX y la toxicidad de ciclosporina, en estos casos se recomienda su supervisión. Se observa una disminución en el metabolismo de mercaptopurina cuando se administra dosis altas de MTX, una disminución de la dosis de mercaptopurina puede ser considerada. Las penicilinas pueden disminuir la depuración de MTX provocando toxicidad hematológica y gastrointestinal, su uso conjunto debe ser monitoreado cuidadosamente. Con trimetoprima se observa un efecto antagónico junto con MTX en folatos y pueden tener efecto sinérgico sobre el metabolismo de folatos, lo que condiciona aumento en la toxicidad de MTX, se recomienda monitorizar su toxicidad. Los alcalinizantes de orina producen un aumento en la excreción renal de MTX, se puede utilizar para disminuir la concentración de MTX [1][2][3][4][5].

**E** Durante la administración de MTX se recomienda completar el recuento de células sanguíneas y el recuento de plaquetas semanalmente durante las primeras 2 semanas, luego 2 veces semanalmente durante el próximo mes, seguido de una vigilancia mensual según el cuadro clínico pues existe el riesgo de aparición de: depresión de la médula ósea con leucopenia, trombocitopenia, anemia e hipogammaglobulinemia [3] [5].

**F** La creatinina sérica y los electrolitos deben seguirse a diario. Un aumento en la creatinina sérica por encima de los valores normales indica una disfunción renal y la posibilidad de una eliminación tardía del MTX. La evaluación de la función renal que incluye evaluación de GFR se recomienda en un intervalo de 2 a 3 meses. El mayor riesgo de disfunción renal inducida por MTX es que el aclaramiento de MTX está gravemente comprometido, lo que provoca una excreción retardada del fármaco, concentraciones plasmáticas superiores a las esperadas y un aumento de la toxicidad sistémica. El MTX puede precipitar en los túbulos e inducir directamente una lesión tubular. El riesgo aumenta en presencia de orina ácida (ya que el MTX y sus dos principales metabolitos son poco solubles a un pH ácido), con una disminución del volumen (que disminuye la velocidad del flujo urinario y aumenta la concentración de MTX en el líquido tubular) y cuando en el plasma las concentraciones de MTX son sostenidas. También causa una disminución transitoria en la tasa de filtración glomerular (GFR) después de cada dosis, con una recuperación completa dentro de las seis a ocho horas. El mecanismo responsable de esta insuficiencia renal funcional implica la constricción arteriolar aferente o la constricción de la célula mesangial. El efecto se puede exacerbar cuando se administran fármacos nefrotóxicos adicionales (p. Ej., Cisplatino) [3].

**G** Monitorización de la función hepática: ALT, AST, ALP y albúmina sérica cada 4 a 8 semanas con monitorización más frecuente de la función hepática para pacientes con factores de riesgo hepáticos pues su administración puede causar una elevación aguda en las transaminasas séricas de dos a veinte niveles normales. La elevación de transaminasas aguda ocurre en hasta 60 a 80 por ciento de los pacientes y generalmente se resuelve espontáneamente dentro de una a dos semanas. Si el nivel de alanina transferasa (ALT) no ha regresado a menos de 180 IU/L al comienzo del próximo ciclo de tratamiento, la

siguiente dosis se debe reducir y/o retrasar [3].

**H** El rescate con ácido folínico debe iniciarse dentro de las 24 a 36 horas posteriores al inicio de la infusión de MTX. La mayoría de los pacientes reciben una mezcla racémica de d, l-ácido folínico (ácido folínico o ácido folínico cálcico). Sin embargo, el isómero l es el biológicamente activo (es decir, tiene la capacidad de rescatar células de la toxicidad de MTX). Se ha publicado una variedad de programas de dosificación, pero la mayoría administra 10 mg/m<sup>2</sup> IV ó 15 mg/m<sup>2</sup> de ácido folínico cálcico por vía oral (ó 5 mg/m<sup>2</sup> de ácido folínico IV) cada seis horas hasta que los niveles plasmáticos de MTX son menores de 0.05 a 0.1 microM. El tamaño y el número de dosis de ácido folínico no parecen ser críticos en pacientes con una eliminación de MTX normal. Incluso las dosis de 10 a 15 mg/m<sup>2</sup> son a menudo superiores a las necesarias para lograr el rescate en tales pacientes. Por el contrario, se necesitan concentraciones más altas de ácido folínico si la insuficiencia renal compromete la eliminación rápida de MTX [3]. Se pueden considerar las dosificaciones mencionadas en la tabla 2.

Debido a los amplios rangos de dosificación utilizados resulta sumamente importante una evaluación preclínica de los pacientes candidatos al tratamiento de neoplasias con MTX por la variabilidad en las que se puede presentar la toxicidad y tomando en cuenta factores que puedan predisponer su aparición.

Autor, año	Dosis de MTX	Duración de la infusión de MTX	Dosis de rescate de ácido folínico	Inicio de ácido folínico
DCLSG ALL VI Veerman, A; 1996	2 g/m <sup>2</sup>	24 horas	25-75 mg/6 horas	36 horas
BFM/D CLSG/ALL 8 Kamps, W; 2002	2 gm/ m <sup>2</sup> por SRG 5 gm/ m <sup>2</sup> para MRG	4 horas	15 mg/6 horas por 8 dosis	28 horas

JALSG-ALL 93 Takeuchi, J; 2002	Bolo de 100 mg/m <sup>2</sup> seguido de 500 mg/m <sup>2</sup>	4 horas	15 mg/6 horas	36 horas
UCSF 8707 Linker, C; 2002	Bolo de 220 mg/m <sup>2</sup> seguido de 60 mg/m <sup>2</sup> por hora por 36 horas	36 horas	50 mg/6 horas	36 horas
MRC UKALL XI Hill, F; 2004	6 gm/m <sup>2</sup> (<4 años) 8 gm/m <sup>2</sup> (>4 años)	Bolo del 10 por ciento, reposo durante 23 horas	15 mg / m <sup>2</sup> /3 horas, luego cada 6 horas cuando MTX sérico <2 x 10 <sup>6</sup> microM	36 horas
MDACC Kantarjian, H; 2004	1 gm/m <sup>2</sup>	24 horas	15 mg/6 horas	36 horas
St Jude XIIIIB Pui, C; 2004	2 gm/m <sup>2</sup>	2 horas	10 mg/m <sup>2</sup> /6 horas	44 horas

**Tabla 2.** Dosis de metotrexato, duración de la infusión y rescate de ácido folínico para varios protocolos modernos de neoplasias

Aunado a las evaluaciones consideradas por el algoritmo, es recomendable, además:

- Una evaluación previa del tratamiento de la función renal antes de cada dosis; así como la eliminación de líquidos biológicos en donde el MTX pueda acumularse tal y como se mencionó [3].
- Mantener una hidratación adecuada y la producción de orina son esenciales para una eliminación rápida de HDMTX. La hidratación agresiva (2,5 a 3,5 litros de líquido IV/m<sup>2</sup> por día) debe comenzar cuatro a 12 horas antes de comenzar la infusión de MTX y continuar hasta que los niveles plasmáticos de MTX sean  $\leq 0,1$  microM [3].
- Se debe aumentar la hidratación y la alcalinización urinaria, siempre que se pueda mantener un gasto urinario adecuado. La alcalinización urinaria, generalmente con bicarbonato de sodio agregado a cada litro de hidratación de líquidos por vía intravenosa, debe usarse para mantener el pH de la orina  $\geq 7.0$  hasta que los niveles plasmáticos de MTX sean inferiores a 0.1 microM [3].
- El rescate con ácido folínico se inicia rápidamente dentro de las 24 a 36 horas del inicio de la infusión de MTX, con ácido folínico continua hasta que los

niveles plasmáticos de MTX sean  $< 0.1$  microM [3].

- Las concentraciones séricas de creatinina, electrolitos y MTX se controlan a diario, con modificación de la dosis de ácido folínico si los niveles plasmáticos de MTX son  $\geq 5$  a 10 microM a las 24 horas,  $\geq 0.0$  microM a las 48 horas y / o  $\geq 0.1$  microM a las 72 horas [3].

Posteriormente es necesario dar indicaciones precisas al paciente una vez que el medicamento ha sido administrado, entre las cuales destacan:

- Informar al paciente que evite exponerse al sol (aun estando nublado) y a lámparas de rayos ultravioleta (UVA), debido al riesgo de cáncer de piel. Deberá llevar ropa protectora adecuada y aplicar frecuentemente un filtro solar con un alto factor de protección [5].
- Informar al paciente que la administración vía oral debe realizarse con el estómago vacío, 1 ó 2 horas después de las comidas, con un vaso entero de agua o con zumo de frutas. No debe tomarse con alimentos o derivados lácteos ya que pueden disminuir su biodisponibilidad [5].
- Informar al paciente que es aconsejable no utilizar sustancias potencialmente hepatotóxicas (incluido el alcohol) [5].

## CONCLUSIONES

- Con la aplicación del algoritmo se dan consideraciones terapéuticas a seguir antes y durante el tratamiento con Metotrexato, mencionando los factores más importantes a considerar a fin de optimizar su utilización y con ello prevenir la aparición de efectos tóxicos, PRM, RNM e IF que disminuyan la eficacia terapéutica.
- Se enfatizan además las condiciones previas del paciente, patologías, hábitos alimenticios, alteraciones en laboratorios, terapia farmacológica previa y concomitante, así como la monitorización de parámetros críticos durante su administración con el fin de disminuir la aparición de efectos tóxicos que condicionen la efectividad de la terapia.
- Se revisaron y evaluaron las IF, RAM, RNM, PRM, contraindicaciones, precauciones de mayor relevancia clínica que modifican significativamente el efecto terapéutico de manera negativa.

## AGRADECIMIENTOS

Especial agradecimiento a los Especialistas en Farmacia Hospitalaria y Clínica del Centro Médico ABC, así como al Coordinador de la Licenciatura en Farmacia por la revisión, apoyo y comentarios sobre este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] DAYLIMED (2016), Methotrexate, U.S. National Library of Medicine. Recuperado de: <https://dailymed.nlm.nih.gov/dailymed/drugInfo.cfm?setid=2308cd6e-b712-438f-8de2-7a64b89aefb8>. Código NDC: 63323-121-02.
- [2] BC Cancer Agency Drug Manual (2017). Methotrexate. Recuperado de: [http://www.bccancer.bc.ca/drug-database-site/Drug%20Index/Mesna\\_handout\\_1Nov07.pdf](http://www.bccancer.bc.ca/drug-database-site/Drug%20Index/Mesna_handout_1Nov07.pdf).
- [3] LaCASCE. Ann S. (2018). Therapeutic use and toxicity of high-dose methotrexate. UpToDate. Recuperado de: [https://www.uptodate-com.pbidi.unam.mx:2443/contents/therapeutic-use-and-toxicity-of-high-dose-methotrexate?search=metotrexato&source=search\\_result&selectedTitle=3~148&usage\\_type=default&display\\_rank=6](https://www.uptodate-com.pbidi.unam.mx:2443/contents/therapeutic-use-and-toxicity-of-high-dose-methotrexate?search=metotrexato&source=search_result&selectedTitle=3~148&usage_type=default&display_rank=6).
- [4] IBM Micromedex. (2018). Methotrexate. Truven Health Analytics
- [5] SALUDMADRID. Metotrexato. Hospital Universitario de la Princesa. Recuperado de: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-disposition&blobheadername2=cadena&blobheadervalue1=filename%3DParenteral+METOTREXATO.pdf&blobheadervalue2=language%3Des%26site%3D-HospitalLaPrincesa&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352850524990&ssbinary=true>. Recuperado el día 10/05/2018

## VARIACIONES DE LA REGIÓN CONTROL DEL MITOGENOMA EN OVINOS DOMÉSTICOS DEL ESTADO DE MÉXICO

Victoria Edwina Campos García<sup>1</sup>, Jorge Alfredo Cuéllar Ordaz<sup>1</sup>, José Francisco Montiel Sosa<sup>1</sup>, Omar Salvador Flores<sup>1</sup>, Erick Alejandro García Trejo<sup>2</sup>, Alejandro Casas Fernández<sup>3</sup>, Filipe Adão Macedo Pereira<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM

<sup>4\*</sup>Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Porto, Portugal

[edwinacampos89@gmail.com](mailto:edwinacampos89@gmail.com), [fpereirapt@gmail.com](mailto:fpereirapt@gmail.com)

### RESUMEN

En México, los ovinos fueron introducidos por los colonizadores españoles en el siglo XVI, desde entonces nuestro país alberga una alta diversidad de razas de estos pequeños rumiantes. El rebaño nacional está compuesto por ovinos "criollos" y por razas extranjeras, estas últimas han contribuido a incrementar el acervo genético. Ante los retos del cambio climático, es apremiante la investigación sobre la diversidad de recursos genéticos ovinos, para prevenir y revertir erosión genética. El objetivo de este trabajo fue analizar la región control del mitogenoma en ovinos procedentes de diferentes municipios del Estado de México. Esta investigación evidenció: 1) Identificación del haplogrupo B ovino, 2) Alta diversidad genética en la población ovina estudiada, 3) Relaciones filogenéticas entre las poblaciones ovinas de Iberoamérica. Estos resultados contribuyen al conocimiento de los ovinos en México y en la Península Ibérica, auxiliando al desarrollo de programas de conservación ovina en el futuro.

**PALABRAS CLAVE:** Recurso zoogenético, *Ovis aries*, mtADN, diversidad genética, conservación y Filogenética.

### ANTECEDENTES

La biodiversidad ganadera es primordial para la seguridad alimentaria, la nutrición humana y el desarrollo rural, particularmente para países con economías de ingreso bajo, de ingreso mediano-bajo y de ingreso mediano-alto [1]. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), aproximadamente 70% de la población rural del mundo cría ganado y depende de éste como parte de su subsistencia [2]. México cuenta con cerca de 197 millones de hectáreas, bajo un mosaico de regiones ecológicas que le dan la principal característica a su ganadería; esto es, una gran biodiversidad de sus recursos zoogenéticos (RZ) domesticados [3]. Al respecto, la oveja domés-

tica (*Ovis aries*) es un recurso zoogenético valioso para el país, además de representar una de las "cinco grandes" especies de ganado distribuido a escala mundial [2]. Desde su introducción por parte de los conquistadores españoles, estos pequeños rumiantes no sólo han sido un recurso económico o alimenticio sino también cultural, de manera que actualmente forman parte de la identidad cultural mexicana [4, 5]. En México, existen 3 sistemas de producción ovina: 1) Tradicional o Social. Representa ~60% total de la producción. Los ovinocultores de este sistema, son campesinos de bajo poder adquisitivo y habitantes de los pueblos originarios de México, que heredaron la ovinocultura ibérica, durante la época colonial [6, 7], adaptándola y transformándola a sus necesidades de consumo y a sus pro-

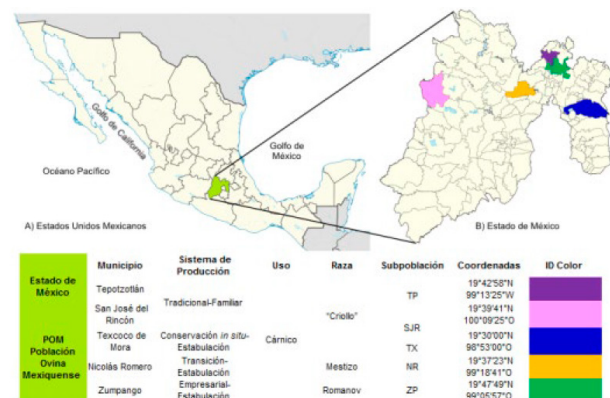
pios criterios de selección de acuerdo con su cultura. Por usos y costumbres, los ovinos de este sistema se denominan “criollos” [8]. 2) Empresarial. Sistema minoritario dedicado a la producción de animales para el abasto y generadores de pie de cría, representa ~10% total de la producción con grandes rebaños y donde se pretende una utilidad financiera. Los ovinocultores en este sistema son personas con gran poder económico o político, reciben asistencia técnica especializada y poseen una infraestructura de vanguardia. Los ovinos de este sistema son representadas por razas extranjeras. 3) Transición o Intermedio. Este sistema tiene el objetivo zootécnico de producir corderos para el abasto de carne, es representado por ovinocultores que han heredado un sistema tradicional o tienen un estado económico óptimo además de una actitud abierta a las tecnologías zootécnicas. Representa ~20% total de la producción [3,9]. Las instancias gubernamentales dedicadas a la conservación de los RZ como la Comisión Nacional de Recursos Genéticos (CONARGEN) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) no han prestado una adecuada atención a la evaluación de la biodiversidad y el estado de riesgo [2] de estos rumiantes. En especial a los manejados por los ovinocultores tradicionales [9,10]. No existe ningún registro de datos básicos de los ovinos “criollos” o de alguna raza extranjera en el Sistema de Información sobre la Diversidad de los Animales Domésticos (DAD-IS), una herramienta que ayuda a monitorear las poblaciones de razas domésticas y, con ello, tomar decisiones informadas sobre el manejo de los RZ [2]. La producción ovina nacional enfrenta una problemática compleja como resultado de las características de los sistemas de producción, basándose en pequeños rebaños de baja productividad, escasa organización de los productores y problemas sanitarios, entre otros [5,9]. Por lo tanto, los pequeños rumiantes de la ovinocultura tradicional y empresarial, deben ser considerados como recursos genéticos sujetos a evaluaciones de caracterización para su aprovechamiento productivo sustentable y la creación de políticas de conservación [2]. En México, los estudios de diversidad genética a nivel molecular en ovinos son realmente escasos. Los trabajos pioneros son apenas de los años 2012 y 2017 [11,12]. ]

## OBJETIVO

El objetivo central de esta investigación fue determinar el origen y la diversidad genética matrilineal de una muestra de ovinos domésticos en el Estado de México, mediante el análisis de la región mtADN-CR ovina.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

**Colección de las muestras y extracción de DNA genómico.** Los ovinos “criollos” en México no cuentan con registros genealógicos formales, ni con una asociación de criadores que certifique la pertenencia de los animales a esta agrupación racial. El criterio de muestreo se basó en la información proporcionada por los productores. No se requirió de permisos de aprobación ética para el muestreo. Se obtuvieron 40 muestras de sangre ovina. El grupo de muestras estudiadas se denominó Población Ovina Mexiquense (POM). Los ejemplares se adquirieron de los sistemas de producción: 1) Tradicional-Familiar, 2) Núcleo de Conservación in situ- Estabulación, 3) Transición-Estabulación y 4) Empresarial- Estabulación, en diferentes municipios del Estado de México (Ver Fig. 1). El Núcleo de Conservación in situ, pertenece a la Universidad Autónoma de Chapingo (Texcoco de Mora, Estado de México), donde se promueve la conservación de los ovinos “criollos” de México. La extracción de DNA genómico total se realizó según el protocolo Quiagen® DNeasy Blood & Tissue Kit mediante el método de cromatografía de adsorción- micolumnas de sílice bajo condiciones iónicas controladas.



**Figura 1.** Zonas geográficas de muestreo y datos generales de las muestras

Amplificación de la región control del mtDNA ovino y secuenciación. Se amplificó la región control del mtADN ovino de 41 muestras de DNA, mediante la reacción en cadena de la polimerasa punto final (PCR). Se siguió el protocolo de PCR y secuenciación tipo Sanger bidireccional descrito según Othman et al (2015) [13].

### ANÁLISIS DE DATOS.

Se realizaron alineamientos múltiples de secuencias (MSA), con el algoritmo MUSCLE 3.6 [14], en el programa Geneious v.4.8.2 [15] Estudio de las variaciones de diversidad genética del mtADN-CR de los ovinos domésticos del Estado de México. El número de sitios polimórficos (S), número de haplotipos (Hap), diversidad haplotípica (HD) y diversidad nucleotídica ( $\pi$ ), se calcularon usando el programa DnaSP v.5.10.1. [16]. Historia demográfica de las poblaciones ovinas de Iberoamérica. Se utilizaron los estadísticos de neutralidad Tajima's D y Fu's Fs. Para probar la evidencia de la expansión poblacional, se utilizó el Modelo de Expansión Demográfica (MED), distribución mismatch. La significancia estadística fue probada usando un número de réplicas bootstrap: 1000. Se tomó un valor significativo del índice IRH ( $pIRH < 0.05$ ) como evidencia para rechazar el modelo de expansión súbita de la población (demográfica). Los análisis fueron calculados en el programa Arlequin v.3.5.2.2 [17]. Relaciones filogenéticas de los ovinos domésticos del Estado de México. Cada subconjunto de secuencias se utilizó para construir las redes Median-joining, en el software NETWORK V4.6.1.2 [18]. Se realizó una comparación de los datos con otros estudios de España [19], Portugal [20] y Rusia [21], reportados en la base de datos del Centro Nacional para la Información Biotecnológica, (NCBI, EUA), GenBank. Se utilizaron las secuencias de referencia (HA-HE), Meadows et al. (2011), [22] (M236174–HM236183) para identificar correctamente el haplogrupo de las secuencias de la POM. En las redes Median-joining el tamaño del nodo (círculo) es proporcional al número de muestras representadas en un haplotipo. El nodo más pequeño que representa un solo individuo. La longitud de la rama (clado) es proporcional a la distancia mutacional. Las estrellas, en la longitud de la rama, indican más de un paso mutacional.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis genéticos de esta investigación, proporcionan nuevos datos sobre el desarrollo de las poblaciones ovinas en México, así como las relaciones filogenéticas y filogeográficas de éstas, con los ovinos de la Península Ibérica. Además, se complementa con estudios previos de la misma temática en el país [11,12]. Se logró trazar un panorama sobre la introducción de los ovinos, por parte de los conquistadores españoles en el siglo XVI; de acuerdo a los resultados obtenidos, dicho horizonte impacta actualmente en el desarrollo productivo ovino en México. En comparación con los resultados de poblaciones de ovinos "criollos" mexicanos, Mexican Creole Sheep (MCS), de Alonso et al (2017) [12]; la diversidad haplotípica (HD) de la POM y de la MCS fue igual, pero la diversidad nucleotídica ( $\pi$ ) de la POM fue mayor a la de la MCS. Por tanto, la POM presentó una alta diversidad relativa genética (Ver Tabla 1). De acuerdo con estudios de domesticación, entre más lejos se encuentre una especie de su centro de origen y domesticación [23], en este caso el Creciente Fértil (Oriente Medio), los índices de diversidad genética tienden a decrementar. Sin embargo, en los ovinos domésticos esta hipótesis no se respalda, según los estudios de Alonso et al (2017), Pereira et al (2006) [12, 20], con resultados similares de altos índices de diversidad genética. Se esperaba que los parámetros de diversidad genética (HD y  $\pi$ ), de las subpoblaciones SJR, TP y TX fueran mayores y gráficamente diferenciados (Ver Tabla 1 y Figura 2), ya que, categóricamente, los ovinos son "criollos" de gran rusticidad e importancia en los sistemas tradicionales-familiares. Las subpoblaciones, TP y ZP, mostraron un alto grado de polimorfismos ( $\pi$ ). Las subpoblaciones, NR y TX, revelaron una alta singularidad haplotípica (HD). Los resultados de estas subpoblaciones abrieron la siguiente interrogante: ¿El manejo de los ovinos independientemente de la raza y del sistema de producción, repercute en la diversidad genética?, más investigaciones son necesarias al respecto. Se requiere de más investigaciones al respecto para dar respuesta, aunque, si ésta es afirmativa, se deberá entrelazar el potencial de alternativas de variación genética tomando en cuenta la evolución de los contextos sociales, económicos, ecológicos, culturales e históricos implicados en el manejo ovino en México [5,9].



POM y subpoblaciones	n	S	Hap	HD	$\pi$
POM	40	75	31	0.983	$7.44 \cdot 10^{-3}$
TP	10	25	7	0.911	$7.57 \cdot 10^{-3}$
SJR	10	25	7	0.822	$3.52 \cdot 10^{-3}$
TX	7	26	7	1.000	$4.92 \cdot 10^{-3}$
NR	6	26	6	1.000	$5.42 \cdot 10^{-3}$
ZP	7	25	7	0.952	$7.35 \cdot 10^{-3}$

Los cálculos se basan en 1,196 pb de la mtADN-CR. Los resultados son presentados con gaps considerados como un quinto estado. Número de secuencias (n), número de sitios polimórficos (S), número de haplotipos (Hap), diversidad de haplotípica (HD), diversidad de nucleotídica por sitio ( $\pi$ ). Población Mexicana Ovina, POM. Subpoblaciones: TP de Tepotztlán; SJR de San José del Rincón; TX de Texcoco de Mora; NR de Nicolás Romero ZP de Zumpango. POM=  $\chi^2 = 160$ ; p = 0.0086\*; (gl = 120);  $\chi^2$ : chi cuadrada distribución de Pearson; p: significancia estadística; gl: grados de libertad. Significancia estadística: 0.001 < P < 0.01.

Tabla 1. Índices de diversidad genética de las poblaciones ovinas estudiadas

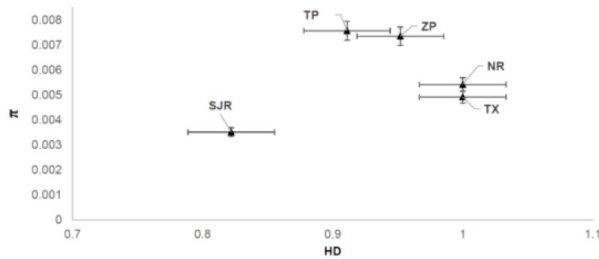


Figura 2. Diagrama de diversidad genética para las subpoblaciones estudiadas

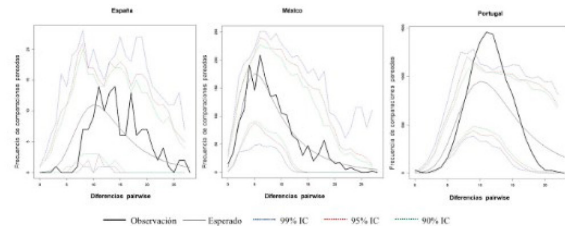
Sólo la subpoblación SJR, evidenció índices de diversidad genética bajos (Ver Figura 2) ya que, los ovinos están en aislamiento de introducción de otras razas y muy probablemente exista una tasa de endogamia alta. Por lo tanto, la subpoblación SJR es objeto de la aplicación de medidas preventivas de erosión genética [2]. Una ventaja para la conservación ovina, es que estos pequeños rumiantes no son competitivos con la alimentación humana [24], es por ello la urgente necesidad de estudios en conservación ovina, para lograr óptimas normatividades en Seguridad-Soberanía Alimentaria y una producción sustentable ante los retos del cambio climático [2].

País	Tajima's D	Fu's Fs	MED	
	(p)	(p)	SSD (p)	r (p)
España	-1.441*	-6.980*	0.014*	0.015*
	(0.075)	(0.008)	(0.110)	(0.500)
México	-1.686*	-24.82*	0.001*	0.007*
	(0.019)	(0.000)	(0.840)	(0.100)
Portugal	-2.087*	-24.15*	0.010*	0.004*
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.180)

Resultados de las pruebas neutrales Tajima's D, Fu'sFs y distribución mismatch (modelo de expansión demográfica) con sus respectivos valores de p asociados. Los cálculos se basan en 1,199 pb de la mtADN-CR. Número de secuencias utilizadas n= 235 [España (n=17), México (n=61), Portugal (n=154)]. Valores estadísticamente significativos cuando: Tajima's D: p (D simulada < D observada). Fu's Fs: p (simulada  $F_s \leq$  observada  $F_o$ ). Modelo de Expansión Demográfica (MED). Distribución mismatch. Número de réplicas bootstrap: 1000. Método de distancia: Diferencias pareadas (no corrección Gamma, inserciones o deleciones no tomadas en cuenta). SSD (Suma de desviaciones cuadradas): p (SSD Simulada  $\geq$  SSD Observada). Índice Harpending's (r): p (IHR Simulada  $\geq$  IHR Observada); p (r)-0.05.

Tabla 2. Historia demográfica de las poblaciones ovinas estudiadas de Iberoamérica

En cuanto a la historia demográfica de los ovinos Iberoamericanos, según las pruebas de neutralidad (Tajima's D y Fu's F) así como, los estadísticos SSD y el Índice Harpending's Reggedness (r) indicaron que las poblaciones de España, México y Portugal muestran una expansión demográfica (Ver Tabla 2).

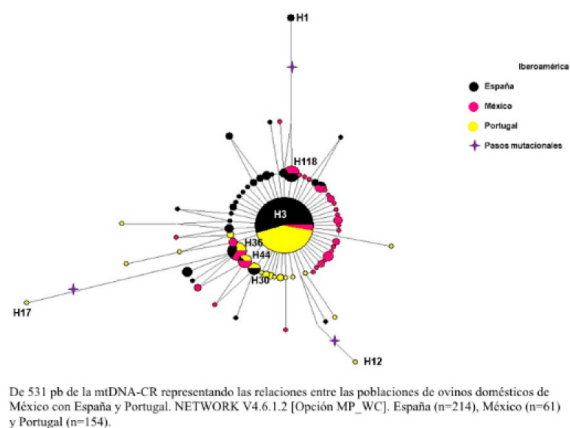


El eje de las abscisas (eje x) representa el número de diferencias pairwise. El eje de las ordenadas (eje y) se muestra la frecuencia de las comparaciones pareadas. Las frecuencias observadas son representadas por la línea sólida gruesa de color negro. Las frecuencias esperadas bajo la hipótesis del modelo de expansión se figuran por una línea sólida delgada de color gris. Las líneas puntuadas de color azul rojo y verde corresponden a los intervalos de confianza 99, 95 y 90%.

Figura 3. Modelo de Expansión Demográfica de los ovinos domésticos de Iberoamérica

No obstante, los gráficos de distribución mismatch del Modelo de Expansión Demográfica (MED), (Ver Figura 3), mostraron una forma discontinua-multimodal, para España y México, es decir, las poblaciones están en "equilibrio" demográfico y espacial, o que mantiene un tamaño constante a lo largo de un periodo largo, esto se debe al número limitado

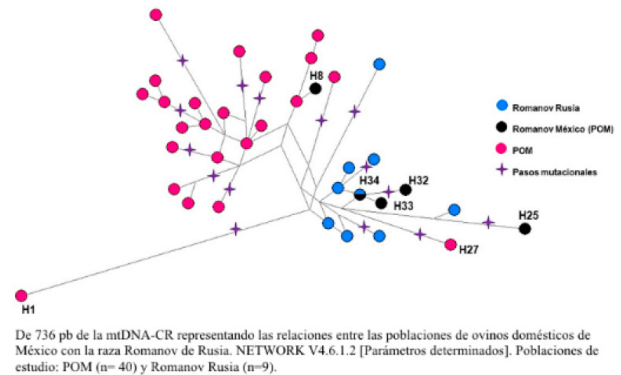
de secuencias utilizadas en este estudio; aunque, las frecuencias esperadas tienden a una forma continua-unimodal. Portugal mostró una forma continua-unimodal, es decir, la representación de una expansión demográfica poblacional [25].



**Figura 4.** Red Median-joining de las poblaciones ovinas de Iberoamérica

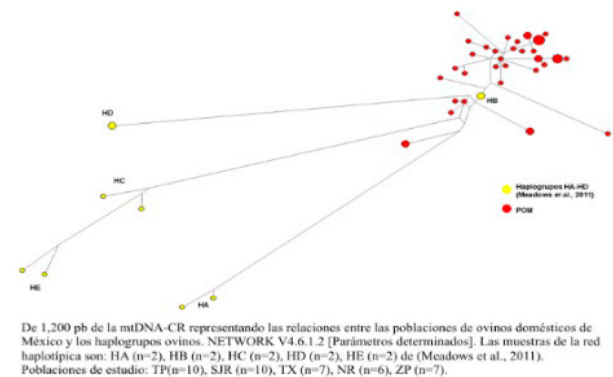
Las relaciones filogenéticas entre los países de Iberoamérica (España, México y Portugal) reveló una expansión demográfica poblacional además de encontrarse un haplotipo ancestral (H3) y 3 haplotipos compartidos (H36, H44 y H118) entre los países de Iberoamérica (Ver Figura 4). Los enfoques estadísticos Tajima's D, Fu's F, SSD y el Índice Harpending's Reggedness (r), analizados en este estudio reafirman esta inferencia (Ver Figura 3). Los hechos históricos respaldan esta relación filogenética y expansión demográfica de las poblaciones ovinas iberoamericanas. Por un lado, en la península Ibérica: La Hispania romana (218 a.C - principios del siglo V), la Hispania musulmana (711-1492), el nacimiento de la Mesta (1273), [26], la formación de los reinos de España y Portugal (1469 y 1640). Y por el otro, en América, gracias a la exploración y conquista del Nuevo Mundo por parte de los portugueses y españoles (1492, 1521, 1534). También se debe destacar el crisol de tradiciones y costumbres de diferentes culturas, sobre todo árabe y judía (en la Península Ibérica) y el fenómeno de mestizaje (en América) sobre el mejoramiento [27], manejo y uso de los ovinos [28]. Estos eventos fueron los principales motores de definición genética en las poblaciones

ovinas de Iberoamérica, teniendo una gran influencia en la producción ovina contemporánea [9,11, 12].



**Figura 5.** Red Median-joining de los haplogrupos ovinos y de la Población Ovina Mexiquense (POM)

El análisis filogenético reveló que la POM está asociada al haplogrupo B ovino (HB), (ver Figura 5), frecuente en las poblaciones ovinas europeas [19,20]. Ulua- Arvizu et al (2009) y Alonso et al (2017), [11,12], también identificaron el HB en poblaciones ovinas "criollas" mexicanas.



**Figura 6.** Red Median-joining de la Población Ovina Mexiquense y ovinos Romanov de Rusia

Las relaciones filogenéticas de la POM comparadas con la raza Romanov de Rusia evidenciaron que el haplotipo H27 (Ver Figura 6) corresponden a una muestra de la subpoblación de Tepozotlán lo que prueba los programas de mejoramiento genético en México,

con la raza Romanov [9]. El haplotipo H36 está bipartido con una muestra de la raza Romanov en México, subpoblación de Zumpango, y Romanov en Rusia, lo que sugiere que: A) Sea un haplotipo antiguo presente en la población Romanov de Rusia o bien B) El origen de una mutación independiente en el mismo sitio del mtADN. El resto de los haplotipos de la subpoblación de Zumpango se agrupan entorno a los haplotipos de la raza Romanov indicando la descendencia matrilineal de las ovejas Romanov en México. Sólo el haplotipo H8 que corresponde a una muestra de la subpoblación de Zumpango no mostró dicha relación. Por lo que, el estudio de las relaciones filogenéticas matrilineales puede ser una herramienta para los productores ovinos de pie de cría en la confirmación de sus registros genealógicos de raza [29].

## CONCLUSIONES

En esta investigación se determinó el origen y diversidad genética matrilineal de una muestra de ovinos domésticos del Estado de México, gracias al análisis de la región mtADN-CR. Los resultados evidencian que:

- 1) La Población Ovina Mexiquense (POM) estudiada mostró una diversidad genética alta ( $HD=0.983$  y  $\pi=7.44*10^{-3}$ ).
- 2) Las subpoblaciones, de Tepetzotlán, (sistema de producción tradicional-familiar), y Zumpango (sistema de producción empresarial-estabulado) mostraron un alto grado de polimorfismos ( $\pi_{Tepetzotlán}=7.57*10^{-3}$  y  $\pi_{Zumpango}=7.35*10^{-3}$ ).
- 3) Las subpoblaciones, Nicolás Romero (sistema de producción empresarial-estabulado) y Texcoco de Mora (Núcleo de Conservación in situ-estabulado), mostraron una alta singularidad haplotípica ( $HD_{Nicolás\ Romero}=1.0$  y  $HD_{Texcoco\ de\ Mora}=1.0$ ).
- 4) La subpoblación, San Juan del Rincón, que usa sistema de producción tradicional-familiar reveló una baja diversidad genética ( $HD=0.822$  y  $\pi=3.52*10^{-3}$ ). Por lo tanto, es una subpoblación en riesgo y objeto para aplicar medidas preventivas de erosión genética.
- 5) La POM tiene una asociación filogenética al haplogrupo B (HB) ovino, frecuente en las poblaciones ovinas europeas.
- 6) La POM tiene relación filogenética con los ovinos de la Península Ibérica.
- 7) Las relaciones filogenéticas matrilineales pueden ayudar a los productores de pie de cría a confirmar sus certificados genealógicos.

8) Las poblaciones ovinas de España, México y Portugal transitaron por una expansión demográfica, confirmándose con los eventos históricos ocurridos en Iberoamérica.

9) Los estudios de diversidad genética y filogenéticos son útiles para investigar la biodiversidad genética ovina y son la base para la creación de políticas de conservación y producción sustentable frente a los retos del cambio climático.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo y colaboración de las siguientes personas y programas financieros, que permitieron la realización de esta investigación: M en C. Jorge A. Cuéllar, Dr. José F. Montiel, M en C. Gabriela Castillo, M en MVZ. Omar Salvador. FESC, UNAM. Dr. Erick García. FC, UNAM. Dr. José Solís y M. en C. Eliseo Romero. UAC. Ing. Francisco Muñoz. ICAMEX. Dr. Raúl Perezgrovas Garza. UNACH. Dr. Alejandro Casas. IIES, UNAM. Dr. Filipe Pereira. CIIMAR, UP, Portugal. Al Ministerio de Educación Cultura y Deporte de España por el acceso a los documentos históricos en el Archivo General de las Indias. Ing. José Antonio Robles Mota. CASTELEC Internacional S.A de C.V. Programas Financieros: PAPIIT No. IN211413 y PAEP-2017-I (UNAM), CONACYT-591449-2015-2017 y COMECYT-2016.

## REFERENCIAS

- [1] WB (2017). Nuevas clasificaciones de los países según su nivel de ingreso. Recuperado de: <https://blogs.worldbank.org/opendata/es/nuevas-clasificaciones-de-los-paises-seg-n-su-nivel-de-ingreso>.
- [2] FAO (2015). The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture, Rome. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4787e.pdf>.
- [3] SAGARPA (2012). Proyecto del consejo nacional de los recursos genéticos pecuarios. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/irc/Memorias%20Documentales/Memorias%20Documentales.-%20CONARGEN%202012.pdf>.
- [4] Johnson, K., (2015). Linked Knowledge: The Work of Irmgard Weitlaner Johnson. Mexican Arts, México.
- [5] Perezgrovas, R., (1990). Los Carneros de San Juan: ovinocultura indígena en Los Altos de Chiapas. Centro de Estudios Indígenas, Universidad Autónoma de Chiapas, México.

- [6] Jarquín, M.T., y Ortega, M.T.J., (1990). Origen y evolución de la hacienda en México: siglos XVI al XX Universidad Iberoamericana. Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- [7] Brading, D., Peña, J.R.D., Campese, F., Palomar, M., Albuérne, E., y Trejo, F.J., (2015). La Nueva España: Patria y religión. FCE, México.
- [8] Reising, C. y Perezgrovas, R., (2011). El traspatico iberoamericano: experiencias y reflexiones en Argentina, Bolivia, Brasil, España, México y Uruguay. Universidad Autónoma de Chiapas, Instituto de Estudios Indígenas, México.
- [9] Cuellar, J., Tortora, J., González, A., y Roman, P., (2011). Mexican Sheep Production. Particularities and complexities. National Autonomous University of Mexico, México.
- [10] Perezgrovas, G.. Papel de las pastoras Tzotziles en la conservación de la diversidad del ganado lanar de Chiapas. *Anim Genet Resour Inform.* 45 (2009), 65-9. [11] Ulloa, R., Gayosso, A. y Alonso R.A., Genetic origin of the Mexican Creole sheep (*Ovis aries*) by the analysis of the cytochrome c oxidase subunit I gene. 47, (2012) 6.
- [12] Alonso, R.A, Ulloa-Arvizu, R. y Gayosso A., Mitochondrial DNA sequence analysis of the Mexican Creole sheep (*Ovis aries*) reveals a narrow Iberian maternal origin. *Mitochondrial DNA Part A* 28, (2017) 793-800.
- [13] Othman, E.O., Lorraine, P., Esraa, A.B., y Marco M., Genetic characterization of Egyptian and Italian sheep breeds using mitochondrial DNA. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 13, (2015) 79-86.
- [14] Edgar, R.C., MUSCLE: a multiple sequence alignment method with reduced time and space complexity. *BMC Bioinformatics* 5, (2004)113.
- [15] Kearse, M., Moir, R. , Wilson, A., Stones-Havas, S., Cheung, M., Sturrock, S. Buxton, A., Cooper, S. Markowitz, C. Duran, T. Thierer, B. Ashton B, P. Meintjes y Drummond A., Geneious Basic: An integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data. *Bioinformatics* 28, (2012) 1647-9.
- [16] Rozas, J., Ferrer-Mata, A., Sanchez-DelBarrio, J.C., Guirao-Rico, S., Librado, P., Ramos-Onsins, S.E. y Sanchez-Gracia, A., DnaSP 6: DNA Sequence Polymorphism Analysis of Large Data Sets. *Mol Biol Evol* 34, (2016) 3299-302.
- [17] L. Excoffier, L., Laval, G. y Schneider, S. Arlequin (version 3.0): An integrated software package for population genetics data analysis. *Evolutionary Bioinformatics Online* 1, (2005) 47-50.
- [18] Huson, D.H., y Bryant, D., Application of phylogenetic networks in evolutionary studies. *Mol Biol Evol* 23, (2006) 254-67.
- [19] Mariotti, M., A re-evaluation of the genetic structure and domestication of European sheep breeds using mitochondrial DNA sequence variation. Unpublished (2011).
- [20] Pereira, F., Davis, S.J.M., Pereira, L.S., McEvoy, B., Bradley, D.G., y Amorim, A., Genetic Signatures of a Mediterranean Influence in Iberian Peninsula Sheep Husbandry. *Molecular Biology and Evolution* 23, (2006)1420-6.
- [21] Tapio, M., Sheep Mitochondrial DNA Variation in European, Caucasian, and Central Asian Areas. *Molecular Biology and Evolution*, 23(9), (2006) 1776–1783.
- [22] Meadows, J.R., Haplogroup relationships between domestic and wild sheep resolved using a mitogenome panel. *Heredity*, 106, (2011) 700-706.
- [23] Troy, C.S., MacHugh, D.E., Bailey, J.F., Magee, D.A., Loftus, R.T., Cunningham, P., Chamberlain, A.T., Sykes, B.C., Bradley, D.G.. Genetic evidence for Near-Eastern origins of European cattle. *Nature* 410, (2001) 1088–91.
- [24] Peña, J.A.P., (2013). Producción de Carne Ovina. México DF. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.
- [25] Ray, N., Intra-Deme Molecular Diversity in Spatially Expanding Populations. *Mol Biol Evol*, 20(1), (2003) 76-86.
- [26] Klein, J., (1920). The Mesta; a study in Spanish economic history 1273–1836. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [27] Davis, S.J.M., (2006). Agricultural improvements in gharb al Andaluz zoo-archaeological evidence from the sheep bones. *Iberian Archaeology*, Portugal.
- [28] García, M., (2001). Los primeros pasos del ganado en México. En *La ganadería en México*. Plaza y Valdes, México.
- [29] Bandelt, H.J., Median-Joining Networks for Inferring Intraspecific Phylogenies. *Mol. Biol. Evol*, 16(1), (1999) 37-48

## Efecto de la alimentación de dióxido de titanio grado alimenticio (E171) en órganos de desarrollo espermático

Juan Carlos Rodríguez Escamilla<sup>1</sup>, Alejandro Déciga Alcaraz<sup>2</sup>,  
Yolanda Irasema Chirino López<sup>2</sup>, Norma Laura Delgado Buenrostro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>2</sup>Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México

[nldb1@hotmail.com](mailto:nldb1@hotmail.com), [irasemachirino@gmail.com](mailto:irasemachirino@gmail.com)

### RESUMEN

El dióxido de titanio grado alimenticio cuya denominación europea como aditivo alimenticio es E171, es ocupado por sus características fisicoquímicas como colorante blanco, tanto en productos alimenticios como farmacéuticos de consumo cotidiano. La regulación de productos que contienen E171 en México se basa en las buenas prácticas de manufactura, que establecen un límite máximo de 1% de peso seco del alimento. El interés de la evaluación de este aditivo surge ya que no posee únicamente fracciones micrométricas, supuestamente inocuas, sino también nanométricas, cuyos análogos han demostrado reprotoxicidad. Mediante un modelo murino, se realizó la administración vía alimento de cantidades crecientes de E171 durante siete semanas para evaluar su efecto en órganos del desarrollo espermático. Al finalizar el tratamiento en testículo se observaron alteraciones histopatológicas en túbulos seminíferos así como infiltración en parénquima. En epidídimo se observa un aparente aumento de vacuolizaciones junto una notable desorganización del epitelio epididimal.

**PALABRAS CLAVE:** E171, Dióxido de titanio grado alimenticio, exposición oral, reprotoxicidad, histopatología

### ANTECEDENTES

Se considera nanopartículas a aquellas partículas que poseen al menos en una de sus dimensiones un largo igual o menor a 100 nm, tamaño con propiedades muy particulares diferentes al material particulado o molecular que las hace ideales para múltiples usos. (1)

Pueden ser de origen natural o sintético, y de diversos tipos, tales como las fabricadas a base de carbono, nanocomposites, metales, cristales metálicos denominados quantum dots, u óxidos metálicos, siendo estas las más comunes y de mayor fabricación. (2) Uno de los óxidos metálicos mas fabricados y empleados es el dióxido de titanio, cuya presentación en grado alimenticio es denominada E171 constituido 99% de Dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), menos de 10 ppm de Plomo y es

recomendado su empleo máximo de hasta 1% en alimentos. (3)

La ingesta de E171 se debe a que este es utilizado en productos farmacéuticos y como aditivo alimenticio con la finalidad de brindar color blanco. Su tamaño principal de fabricación es 200 μm (4) es decir partículas micrométricas, que desde 1967 se ha asegurado no implican riesgo debido a su mínima absorción. (3) Sin embargo, las partículas de E171, poseen un tamaño que va desde 30-250 nm, (5) siendo el tamaño principal de partícula de 110 nm confirmándose un porcentaje entre 36% y 52% de partículas con un tamaño menor a 100 nm, es decir nanopartículas. (6,7,8)

Se ha establecido que las partículas de óxidos metálicos mientras más pequeñas, tienen mayor capacidad de ser absorbidas, distribuidas, generalmente se considera que no son metabolizadas y su eliminación o acumulación se da, según su afinidad química. (9)

La absorción del E171 por sistema gastrointestinal y las alteraciones histopatológicas en colon, tras la administración vía alimento de E171, están asociadas a la mezcla de micropartículas y nanopartículas, capaces de promover procesos cancerígenos en colon empeorando enfermedades intestinales preexistentes. (10) La distribución de E171 no ha sido evaluada para gran cantidad de órganos, sin embargo con otro tipo de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> administradas vía oral se ha confirmado su distribución a tejidos y órganos como sistema linfático, hígado, riñones u otros órganos menos permeables tales como cerebro y testículos, en donde los efectos pueden ser mayores al ser órganos que generalmente están aislados de xenobióticos. (11) La distribución de NP's de TiO<sub>2</sub> a testículos se ha confirmado al identificar contenido de Titanio tras su administración. (12) Los estudios de exposición oral han alteraciones histopatológicas, metabólicas e inmunológicas, por lo tanto en el desarrollo y cualidades de los espermatozoides. (12, 13, 14, 15, 16) Los testículos están conformados por túbulos seminíferos, unidad funcional encargada de la espermatogénesis, los cuales son rodeados por matriz extracelular de colágeno y células mioideas. (17) Los túbulos seminíferos están empaquetados entre tejido parenquimal, interaccionando así con células Leydig, nerviosas, endotelio sanguíneo y linfático, así como diversas células inmunológicas especializadas. (18)

El epitelio seminífero dentro de los túbulos seminíferos está compuesto de células germinales y células de Sertoli cuyas funciones en conjunto llevan a cabo la espermatogénesis. Las diferentes etapas de desarrollo de las células germinales se encuentran en dos microambientes dentro de los túbulos seminíferos y son generados por la barrera hematotesticular. La identificación de patrones de daño o evaluación de las diferentes fases de la espermatogénesis agrega poder al evaluar el correcto desarrollo espermático bajo alguna condición experimental o ambiental. (19)

## OBJETIVO

Identificar alteraciones en órganos del desarrollo espermático, como efecto de la administración de E171 vía oral en modelo murino mediante evaluación histopatológica en cortes de testículo y epidídimo de ratón control y alimentados con dióxido de titanio grado alimenticio mediante tinciones histoquímicas.

## MÉTODOS Y REACTIVOS

Modelo de experimentación: Se obtuvieron 32 ratones Balb/c de 5 semanas de edad (35 días), de manera aleatoria se separaron en 8 lotes de 4 ratones (n=4), mantenidos con agua y alimentación ad libitum durante todo el tratamiento. Se formaron lotes control y tratados con 0.1%, 0.5% y 1% de E171 en la comida, durante 7 semanas, para lo cual se preparó alimento con 0.1%, 0.5%, 1% en peso de E171 añadido antes de cocinar. Se pesaron a los ratones y la cantidad de alimento semanalmente. Al concluirse los tiempos de administración se sacrificaron los ratones obteniendo y pesando los testículos y epidídimos de cada ratón. Se utilizó un testículo y epidídimo para fijación en paraformaldehído al 4% y solución de Bouin, para realizar histología.

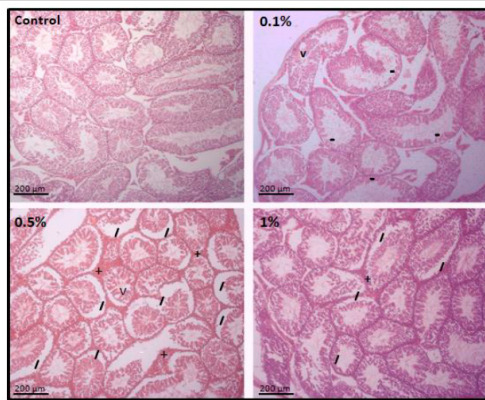
Procesamiento histológico: Se deshidrataron los órganos mediante un carril de alcohol a concentración creciente comenzando con 80%, 90%, 96% y 100% permitiendo la difusión por un tiempo mínimo de 30 min. Para el método de aclaración se utilizó una mezcla 1:1 de alcohol 100%-butanol durante 1 h seguido de butanol durante 24 h. Posterior a la aclaración se dejaron en parafina I durante 24 h, parafina II 1 h, con lo cual se procedió a incluir los órganos en parafina a 58°C vaciando en recipientes metálicos y ubicando la posición anatómica en la cual se realizaron los cortes histológicos. La realización de los cortes histológicos será mediante micrótopo Leica RM2125 RTS obteniendo cortes con un grosor de 5 µm, adheridos a portaobjetos lisinizados secados a 37°C.

Histoquímica tinción Hematoxilina y Eosina (H&E): Los cortes de 5 µm de grosor de tejido incluidos en parafina, se rehidrataron utilizando Xilol I durante 4 min, Xilol II 4 min, Alcohol-Xilol 1 min, carril de concentración decreciente de alcohol comenzando con 100%, 90%, 80%, 70% 2 min cada uno, se enjuaga en agua 3 min, hematoxilina 3 min, agua 5 min, alcohol ácido 15 seg, agua 1 min, Eosina 4 min, agua 3 min y posterior deshidratación mediante carril de concentración creciente

de alcohol comenzando con 70%, 80%,90% y100%, Alcohol-Xilol 3 min, Xilol I 5 min y Xilol II 5 min para montar de manera permanente con Entellan. Histoquímica tinción Tricrómica de Masson: Los cortes de 5 µm de grosor de tejido se incluyeron en parafina, se rehidrataron utilizando Xilol I durante 4 min, Xilol II 4 min, Alcohol-Xilol 1 min, carril de concentración decreciente de alcohol comenzando con 100%, 90%, 80%, 70% 5 min cada uno, enjuague en agua 3 min, Bouin a 56°C 1 h, enjuague en agua 5 min, IHematoxilina de Weigert 5 min, 5 min agua, Rojo escarlata 1 min, 5 min con agua, Acido fosfotungstico/ fosfomolibdico 3 min, azul anilina 3 min, ácid acético glacial 1 min y posterior deshidratación mediante carril de concentración creciente de alcohol comenzando con 70%, 80%,90% y 100%, Alcohol-Xilol 3 min, Xilol I durante 5 min y Xilol II durante 5 min para montar de manera permanente con Entellan.

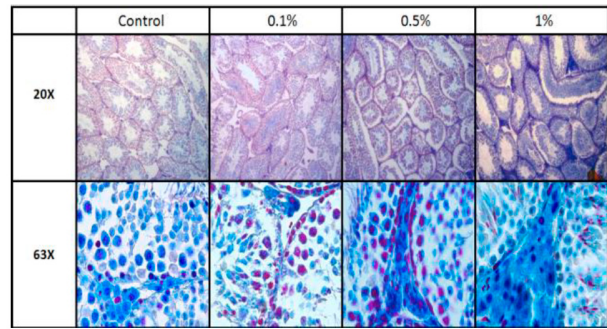
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Histopatología de túbulos seminíferos: Tinción H&E de testículos, evidencia el arreglo normal de túbulos seminíferos, epitelio seminífero dentro de túbulos y parénquima alrededor de los túbulos en ratones control. Los túbulos de los ratones tratados al 0.1% muestran desorganización de túbulos y pérdida o adelgazamiento del epitelio seminífero (-) y estructuras semejantes a vacuolas (v), mientras que los administrados con 0.5% y 1% muestran un engrosamiento del parénquima presente en toda la sección del corte, junto con un aumento en el desprendimiento del epitelio seminífero, (Fig. 1).



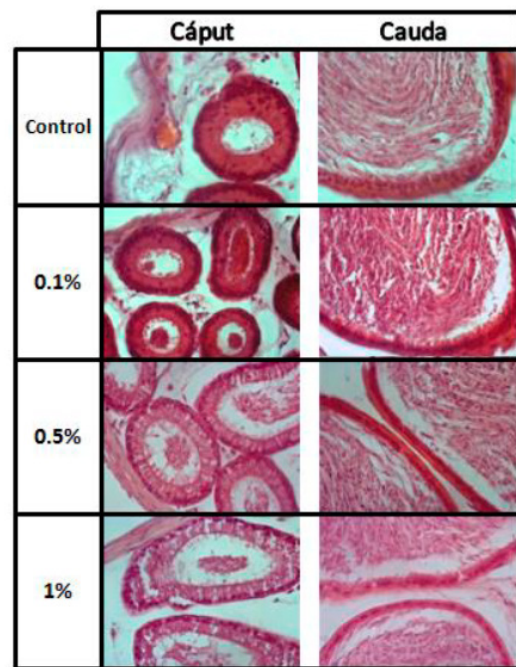
+ : Engrosamiento de parénquima - : Disminución de epitelio seminífero  
v : Vacuolización /: Desprendimiento de epitelio

**Figura 1.** Alteraciones en corte transversal de túbulos seminíferos tratados vs control, tinción H&E, 10X.



**Figura 2.** Aumento en distribución de parénquima de ratones tratados, tinción Tricrómica de Masson

Distribución de parénquima: El aumento en el grosor del parénquima, es un posible indicativo de infiltración celular a causa de un proceso inflamatorio. Para revisar posible aumento de fibrosis y distinguir células del parénquima se realizó tinción Tricrómica de Masson. Observándose un notable aumento en la cantidad de células presentes en el parénquima testicular (Fig. 2) . Tal aumento se muestra en procesos de migración de macrófagos a zonas donde se está llevando a cabo un proceso inflamatorio, donde estos son requeridos para la eliminación de partículas extrañas para el organismo. (20)



**Figura 3.** Vacuolizaciones y desorganización de epitelio epididimal de ratones tratados, tinción H&E, 40X.

Histopatología de epidídimo: En epidídimo de ratones tratados pudo observarse un aumento de vacuolas a partir de los tratamientos de 0.5% y 1%, junto con un aumento en la separación entre las células del epitelio epididimal de la región caput, mientras que en la región cauda no se observan alteraciones considerables (Fig. 3). (21) Estas observaciones en órganos del desarrollo espermático pueden considerarse factores alterados implicados en la capacidad fertilizante de los espermatozoides (20, 21).

## CONCLUSIONES

Al finalizar el tratamiento en testículo se identificaron alteraciones en órganos del desarrollo espermático, como efecto de la administración de E171 vía oral al evaluar la histopatología en cortes de testículo y epidídimo de ratón control y alimentados con dióxido de titanio grado alimenticio mediante tinción H&E, y Tricrómica de Masson.

## AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de Toxicología y carcinogénesis de la UBIMED, FESI, por su apoyo educativo.

## REFERENCIAS

- [1] The national nanotechnology initiative, supplement to the president 2018 budget (2018) Recuperado de: <http://www.nano.gov/2018budgetsupplement>,
- [2] Garduño L.G., et al. J., Difficulties in establishing regulations for engineered nanomaterials and considerations for policy makers: avoiding an unbalance between benefits and risks. *Appl. Toxicol.* (2015); 35(10):1073-85
- [3] Ans, F., Setting of an import tolerance for diethofencarb in bananas. *EFSA Journal*, (2016) 14(9): 4576
- [4] Jovanovi B., et al., Integrated Environmental Assessment and Management, (2014), 11(1), 10–20.
- [5] Athinarayanan, J., et al., Titanium Dioxide as Food Additive. *J Food Sci.* (2015). Feb;80(2):N459-64.
- [6] Weir A. et al., Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. *Products Environ Sci Technol.* (2012); 46(4): 2242–2250.
- [7] Faust, J. J., et al., Frontiers in Toxicity and Functionalization of Nanomaterials. *Cell Biol Toxicol* (2014) 30:169–188.
- [8] Faust, J. J., et al., A Facile Method for Separating and Enriching Nano and Submicron Particles from Titanium Dioxide Found in Food and Pharmaceutical Products. *PLoS ONE* (2016). 11(10): e0164712.
- [9] Zhang, Y., et al., Perturbation of physiological systems by nanoparticles. *Chem. Soc. Rev.*, (2014), 43, 3762
- [10] Urrutia-Ortega et al., I. M., et al., Food-grade titanium dioxide exposure exacerbates tumor formation in colitis associated cancer model. *Food and Chemical Toxicology*, (2016).20-31.
- [11] Shakeel, M., et al., Toxicity of Nano-Titanium Dioxide (TiO<sub>2</sub>-NP) Through Various Routes of Exposure: a Review. *Biological Trace Element Research*, (2016) 172(1), 1–36.
- [12] Gao, G., et al., Titanium dioxide nanoparticle-induced testicular damage, spermatogenesis suppression, and gene expression alterations in male mice. *Journal of Hazardous Materials*, (2013). 258–259, 133–143.
- [13] Jia, F., et al., Effect of pubertal nano-TiO<sub>2</sub> exposure on testosterone synthesis and spermatogenesis in mice. *Archives of Toxicology*, (2014). 88(3), 781–788.
- [14] Hong, F., et al., Decreased spermatogenesis led to alterations of testis-specific gene expression in male mice following nano-TiO<sub>2</sub> exposure. *Journal of Hazardous Materials*, (2015).. 300, 718–728.
- [15] Hong, F., et al., TiO<sub>2</sub> Nanoparticle Exposure Decreases Spermatogenesis via Biochemical Dysfunctions in the Testis of Male Mice. *J. Agric. Food Chem.* (2015), 63, 7084–7092.
- [16] Hong, F., et al. J., Exposure to TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Induces Immunological Dysfunction in Mouse Testis. *Agric. Food Chem.* (2016)., 64, 346–355.
- [17] Brehm R. (2005) Regulation of Sertoli cell and germ cell differentiation. Ed Springer, Germany.
- [18] Kerr J.B. (2006) Cytology of the Testis and Intrinsic Control Mechanism. Knobil and Neill's Physiology of Reproduction, Third Edition Elsevier.



## EFECTO HIPOLIPEMIANTE DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE *Prunus serótina* var. *capulí* EN MODELO DE RATON DE DIABETES MELLITUS TIPO-1.

Hugo Andrés Céspedes Sánchez<sup>1</sup>, Onofre Daniel González Rodríguez<sup>1</sup>,  
Berenice Yahuaca Juárez<sup>1</sup>, Rafael Ortiz Alvarado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

[rortizalvarado@gmail.com](mailto:rortizalvarado@gmail.com)

### RESUMEN

La Diabetes Mellitus (DM), se trata con hipoglicemiantes como los derivados de las sulfonilureas (glibenclá-mida), que tiene como efecto secundario dislipidemia. Por lo que el control dietético es fundamental para el tratamiento de la DM. Por lo que el uso de compuestos nutraceuticos es una opción. Se administró a dos grupos de ratones de la cepa Balb-c, inducidos al modelo de DM-1, con estreptozotocina (150mg/kg) y se usó la dieta AING-93 modificada con aceite proveniente de *P. serontina* var. *capuli*, al 4% de la composición original. Después de 14 días de tratamiento, se midió una disminución en la concentración de colesterol sérico del 47.3% en el grupo tratado con la dieta modificada por el aceite de semilla de capulín, no observando un cambio significativo en la fracción de triglicéridos séricos en los animales sometidos al tratamiento dietético modificado respecto a los animales con la dieta estándar.

**PALABRAS CLAVE:** Ácidos grasos poliinsaturados, *Rubus* spp., *Prunus serótina*, Rosáceas., Diabetes Mellitus.

### ANTECEDENTES

El actual modelo económico impacta diferentes órdenes entre ellos el cultural y el patrón de conducta alimentaria, en donde México no está exento a esta dinámica mundial, una manera de monitorear el desarrollo de nuestro estado es por medio del Índice de Desarrollo Humano (IDH) de acuerdo a los datos obtenidos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) el cual es un indicador donde se resumen los logros promedio en tres dimensiones: salud, educación e ingreso, el estado de Michoacán se encuentra en el lugar 29 de los 32 estados de la Republica con un valor de 0.700 de IDH en salud para el año 2012 en educación ocupamos la posición 30 así como el índice de desarrollo el lugar 26, se considera que cada una de estas dimensiones representa una capacidad fundamental necesaria para que las personas puedan disfrutar de una vida que consideren valiosa, existe un

apartado en el análisis de IDH donde los estados se comparan con diferentes países en el mundo y por el nivel de salud, desarrollo y educación Michoacán es comparado con Suriname un país de Sudamérica colindante con Brasil, siendo este uno de los principales problemas ya que nuestro modelo económico no es sustentable así como la educación en el estado ya que, en 2009 y 2013, Guanajuato fue el estado que más avanzó en educación secundaria y primaria; mientras tanto, Oaxaca y Michoacán muestra fallas graves encontrándose Michoacán en el lugar 31 de los 32 estados de la República Mexicana, la organización atribuye los niveles "graves" a que toda acción educativa, entre los procesos de certificación docentes "boicoteada", deduce que cualquier niña, niño o joven que viva en Michoacán se enfrenta a un "desalentador futuro educativo", por lo que le vendría mejor emigrar a otra

entidad o apoyarse en el respaldo familiar para desarrollar su potencia, aunque no es el único motivo de migración ya que el bajo desarrollo hacen que las familias completas migren en busca de nuevas y mejores oportunidades en diferentes ámbitos, así como el acceso a la salud de manera equitativa, la oportunidad de tener una alimentación saludable, ya que en el país y en el estado no hay desnutridos, hay malnutridos lo que nos provoca tener una alta incidencia de enfermedades crónico degenerativas que podríamos prevenir [2].

Las enfermedades crónico-degenerativas son las principales causas de mortalidad en México, ubicándose en primer lugar la Diabetes Mellitus, en segundo las enfermedades isquémicas del corazón, en tercero las cerebro-vasculares, y en cuarto las crónicas del hígado. "Todos estos padecimientos, están muy relacionadas con la obesidad y con el síndrome metabólico" [1]. (Dra. Gloria Ruiz Guzmán, investigadora del Laboratorio de Investigación Clínico-Epidemiológica UAM) [4].

El principal componente del síndrome metabólico es la obesidad central abdominal asociada con un patrón desfavorable del perfil de lípidos y alteraciones en el metabolismo de la glucosa, que se acompañan de un incremento en la incidencia de hipertensión arterial y Diabetes Mellitus tipo 2, enfermedad cardiovascular y cerebro-vascular [3].

## OBJETIVO

Determinar el efecto hipolipemiante específico del aceite de semilla de capulín en un modelo de Diabetes Mellitus de tipo-1 en ratón, a través de una dieta modificada.

## PARTE EXPERIMENTAL

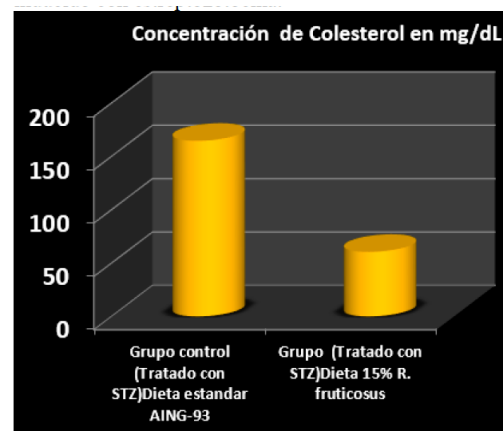
Los materiales utilizados fueron obtenidos de *P. serótina* var. *capuli* (capulín) colectada en el municipio de Ucuare Michoacán, la cual no cumplió las especificaciones para su comercialización. Se separó la fracción los sólidos y líquida, en este caso en que nos interesa en el sólido se seca a 47°C por 36 horas y se separó la semilla, se sometió a trituration, posteriormente el proceso para extraer los ácidos grasos por un método de extracción en este caso utilizamos en método de extracción Soxhlet, una vez obtenidos la fracción lipídica ácidos grasos se realiza un análisis del perfil de ácidos grasos por

cromatografía de gases o Resonancia Magnética Nuclear. Con el aceite obtenido se diseñó la dieta basada en la dieta estándar DIETA AIN-93G, para roedores, ratón *Mus musculus*, y se les administró la dieta modificada a ratones inducidos a diabetes mellitus tipo 1 con la administración de estreptozocina a una concentración de 150 mg/Kg de peso, la administración de la dieta se realizó por 14 días al termino del tratamiento se determinaron los parámetros correspondientes a perfil de lípidos, como son colesterol total y triglicéridos en sangre de los animales tratados con la dieta modificada en base a los ácidos grasos poliinsaturados provenientes de la semilla de *P. serótina*, los resultado se analizaron de manera estadística y se determinaron las desviaciones estándar correspondientes.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

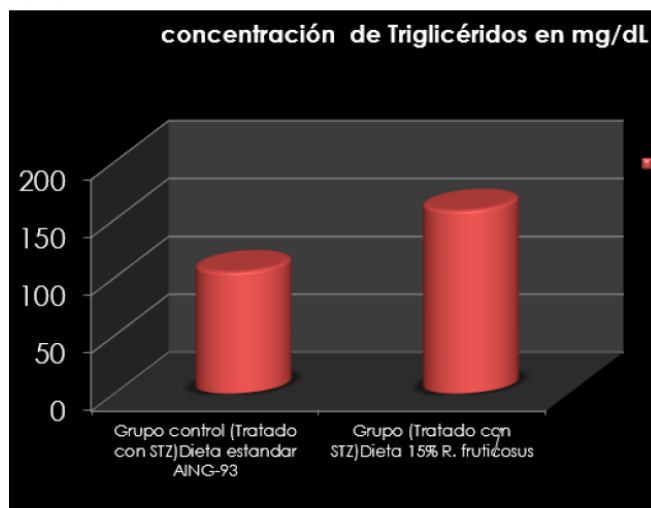
Una vez analizadas todas nuestras muestras, en sangre para Colesterol Total y Triglicéridos se obtuvieron los siguientes resultados.

En la Figura 1 se observa la concentración de colesterol total para el grupo de animales control inducidos con diabetes mellitus de tipo 1, sometidos a la dieta estándar AING-93 un valor de 164.5 mg/dl y una desviación estándar de  $\pm 35.94$ , en el caso del grupo tratado con el dieta experimental con aceite de semilla de zarzamora y ácidos grasos poliinsaturados se mostró una concentración de 60.44 mg/dl y una desviación estándar de  $\pm 7.59$ , para una N= 5, individuos, para cada tipo de tratamiento, por lo que se establece un diferencia significativa para el tratamiento dietético, en el caso de colesterol en los animales con diabetes mellitus de tipo 1 inducido con estreptozotocina.



**Figura 1.** Concentración de Colesterol total en mg/dL, en suero de ratones de inducidos a Diabetes mellitus de tipo 1, N=5 individuos tratados para cada grupo.

En la Figura 2 se observa la concentración de triglicéridos para el grupo de animales control inducidos con diabetes mellitus de tipo 1, sometidos a la dieta estándar AING-93 un valor de 105.0 mg/dl y una desviación estándar de  $\pm 21.35$ ; en el caso del grupo tratado con el dieta experimental con aceite de semilla de zarzamora y ácidos grasos poliinsaturados mostraron una concentración de 157.91 mg/dl y una desviación estándar de  $\pm 61.25$ , para una N= 5, individuos, para cada tipo de tratamiento, por lo que se establece que no existe una diferencia significativa para el tratamiento dietético, en el caso de los triglicéridos en los animales con diabetes mellitus de tipo 1 inducido con estreptozotocina.



**Figura 2.** Determinación de triglicéridos en los dos grupos de animales, de experimentación. De esta manera se puede verificar que existe una diferencia significativa en los animales que se les administro la dieta AIN-G93, modificada con aceite de capulín, y este efecto hipocolesterolemiante específico puede tener diferentes mecanismos celulares que restaran a ser determinados, por lo pronto se puede citar a trabajos previos en donde los ácidos grasos provenientes de la fermentación de otras fuentes puede influir sobre otros parámetros moleculares [1], [5]. Cabe mencionar que el aceite de semilla de *P. serótina* var. *Capulí* contiene Ácido linoleico 57.8%, Oleico 28.5% y ácido linoleico 7.2%. En su forma cis. De esta manera el presente trabajo establece en un modelo animal de Diabetes Mellitus de tipo 1 que el aceite de semilla de capulín puede tener un efecto hipocolesterolemiante específico en una dieta modificada, lo cual puede ser la base de tratamientos terapéuticos específicos para enfermedades con un componente metabólico como la Diabetes Mellitus.

Tipo de Tratamiento	Parámetro de Colesterol en mg /dL	Parámetro de Triglicéridos en mg /dL
Grupo Control (tratado con STZ) Dieta Estándar AING-93.	164.5 $\pm$ 35.94 N=5	105.0 $\pm$ 21.35 N=5
Grupo tratado con STZ, Dieta 15% de fibra <i>R. fruticosus</i> .	60.44 $\pm$ 7.59 N=5	157.91 $\pm$ 61.125 N=5

**Tabla 1.** Perfil lipídico en suero de ratones control y tratados con la dieta modificada con ácidos grasos poliinsaturados de semilla de *Prunus serótina* variedad capulí.

## CONCLUSIONES

Se observó una disminución significativa en la concentración de colesterol en los animales inducidos para Diabetes Mellitus de Tipo 1, tratados con la dieta modificada al 4% de aceite proveniente *Prunus serótina* variedad capulí y 15% de fibra proveniente de *Prunus serótina* variedad capulí. No así una diferencia significativa en los valores de triglicéridos. Por lo que se puede establecer que existe un efecto hipocolesterolemiante específico de la dieta modificada con ácidos grasos poliinsaturados provenientes de semilla de *Prunus serótina* variedad capulí. en un modelos de diabetes mellitus de tipo 1.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto soportado por la Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Convocatoria CIC 2018-2019, como apoyo a la investigación científica y al CAEC-211 DE FISIOPATOLOGÍAS-211.

## REFERENCIAS

- [1] Corte-Osorio, L. Y., Martínez-Flores, H.E., Ortiz-Alvarado, R., (2011). Effect of dietary fiber in the quantitative expression of butyrate receptor GPR43 in rats colon. *Nutrición Hospitalaria*. 26(5):1052-1058
- [2] Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuuario, Rural, Forestal y pecuario. (Febrero 2015). Panorama de la Zarzamora. 2015, de Secretario de Hacienda y Crédito Público. Recuperado de: <http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Zarzamora.pdf>.

[3] Rodolfo De la Torre García Cristina Rodríguez García. (2015). Índice de Desarrollo Humano para las entidades federativas, México 2015. 2015, de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México Recuperado de: [http://www.mx.un-dp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReduccionPobreza/InformesDesarrolloHumano/PNUD\\_boletinIDH.pdf](http://www.mx.un-dp.org/content/dam/mexico/docs/Publicaciones/PublicacionesReduccionPobreza/InformesDesarrolloHumano/PNUD_boletinIDH.pdf).

[4] Universia México. (2014). Enfermedades crónico-degenerativas: primera causa de mortalidad en México. 2014, de Universidad Autónoma Metropolitana Recuperado de: [http://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina\\_con\\_formato\\_version\\_oct/apaweb.html](http://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina_con_formato_version_oct/apaweb.html).

[5] Tazoe, H., Otomo, Y., Kaji, I., Tanaka, R., Karaki, S. I., Kuwahara, A., (2008). Roles of short-chain fatty acids receptors, GPR41 and GPR43 on colonic functions. *J Physiol Pharmacol.*, Suppl2, 251-262

## EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DEL EXTRACTO ETANÓLICO DE *Ricinus communis*

Gonzalez Amaya Suellen<sup>1</sup>, Valdez Santillán Brenda Carolina<sup>1</sup>, Guerrero Agama Roberto,  
<sup>1</sup>Penieres Carrillo José Guillermo<sup>2</sup>, Cruz Sánchez Tonatiuh Alejandro<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Bioprospección Microbiológica UIM FES Cuautitlán Campo 4, UNAM,

<sup>2</sup>Laboratorio de Química Orgánica Campo1 FES Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>3</sup>Departamento de Ing. Agrícola FES Cuautitlán Campo 4. UNAM

[p\\_chan05@hotmail.com](mailto:p_chan05@hotmail.com), [suellen3b@outlook.com](mailto:suellen3b@outlook.com), [penieres@unam.mx](mailto:penieres@unam.mx), [tonatiuh86@hotmail.com](mailto:tonatiuh86@hotmail.com)

### RESUMEN

Se evaluó la actividad antimicrobiana del extracto etanólico de *Ricinus communis* (Higuerilla) sobre las cepas *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Escherichia coli* ATCC8739 y *Candida albicans* ATCC 14053, mediante pruebas de difusión radial en agar. Se analizaron los extractos etanólicos del tallo y hoja de la planta *Ricinus communis* (higuerilla) recolectada de los campos de cultivo de la FES Cuautitlán. Los resultados obtenidos con las cepas de *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 y *Escherichia coli* ATCC 8739, mostraron sensibilidad de las mismas ante los extractos, mientras que *Candida albicans* ATCC 14053 mostró resistencia ante el mismo. El extracto etanólico parece tener diferente actividad respecto a la parte de la planta de que proviene, el extracto obtenido de la hoja mostró una mayor efectividad en contra de *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 a diferencia del extracto del tallo, que mostró mayor eficacia contra *Escherichia coli* ATCC 8739. Estas características antimicrobianas antes mencionada, se puede deber a la concentración y distribución de ciertos componentes que son diferentes en cada parte de la planta.

**PALABRAS CLAVE:** Extracto etanólico, higuerilla, *Ricinus communis*, actividad antibiótica, actividad anti-fúngica.

### ANTECEDENTES

*Ricinus communis* es conocido con el nombre vulgar de ricino, higuerilla, higuera infernal, higuereta, tártaro, aceite de castor y catapusia [3].

Es originaria de Etiopía e India, actualmente está distribuido en casi todas las zonas tropicales y subtropicales. Crece silvestre, sobre suelos arcillosos, drenados y orillas de ríos y lagos [3].

Es una planta arbustiva de 1 a 6 metros de altura. Los tallos son huecos, ramificados y de color verde o rojizo, las hojas están partidas de 5 a 8 segmentos, en forma de estrella, con los nervios de color rojizo, sus bordes tienen diente de sierra de tamaño irregular, sus flores se encuentran en racimos, y los frutos son cápsulas

espinosas que contienen 3 semillas grandes, lisas algo aplanadas y jaspeadas [2].

En sus hojas, se han aislado ácidos orgánicos (ácido gálico, eléxico, ferújico, shikímico y p-cumárico). También nitrato de potasio (alta cantidad), flavonoides, quercitrina e isoquertricina [4].

Sus semillas contienen aceite fijo (*Oleum ricini*) en porcentajes del 35 al 55 % principalmente constituido por los glicéridos de los ácidos ricinoléico, iso-ricinoléico. También contiene ricina y ricinina, la primera es una fitotoxina sumamente venenosa, por vía endovenosa y menor por vía oral, aunque esta última vía puede ocasionar la muerte, su activi-

dad desaparece por acción del calor moderado; el segundo es un alcaloide [2].

La emergencia de la resistencia bacteriana ha generado nuevos intereses en la búsqueda de medicamentos con poder antibacteriano, prueba de ello es el aumento en los últimos años del número de publicaciones, relacionando productos naturales y actividad antimicrobiana, centrándose las investigaciones en los productos naturales como fuentes de moléculas bioactivas. El desarrollo de la farmacéutica inicia con la identificación de principios activos, los análisis biológicos, la formulación de la dosis, seguida por estudios clínicos para establecer la seguridad, eficacia y perfil farmacológico de las nuevas drogas.

Las técnicas de difusión han sido ampliamente usadas para evaluar extractos de plantas con actividad antimicrobiana [6].

En los últimos años, se ha incrementado el uso de productos de origen natural. En el caso de la Higuera, se ha visto que los extractos en acetona, etanol y agua de las hojas y tallos presentan actividad antibiótica contra *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, *Serratia marcescens*, *Shigella flexneri*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus albus*, *Sarcina lutea*, *Bacillus subtilis* y *Neisseria gonorrhoeae*. Se ha reportado también que el extracto acuoso de las hojas presenta actividad antiviral in vitro contra el virus de la viruela [1].

En estudios previos con el extracto de semillas de *R. communis* en acetona, etanol y agua, se encontró que presentan actividad antibiótica contra: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, *Serratia marcescens*, *Shigella flexneri*, *Staphylococcus aureus*, y *Neisseria gonorrhoeae*. Es importante mencionar, que no existen referencias relacionadas a la actividad antifúngica de la hoja de *Ricinus communis* [4].

## OBJETIVO

Evaluar la actividad antimicrobiana de hoja y tallo de la planta Higuera (*Ricinus communis*) in vitro contra cepas de *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Escherichia coli* ATCC 8739 y *Candida albicans* ATCC 14053, y así iniciar el fundamento técnico científico para su uso en medicina alternativa.

## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se realizó la evaluación in vitro de la actividad antimicrobiana y antifúngica de los extractos etanólicos, obtenidos con rotavapor frente a las cepas de *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Escherichia coli* ATCC 8739 y *Candida albicans* ATCC 14053, empleando la técnica de difusión en agar Mueller-Hinton con 2% de glucosa (Figura 1).

Previamente se sembraron y caracterizaron todas las cepas para verificar su correcta identificación y actividad metabólica adecuada para la prueba.

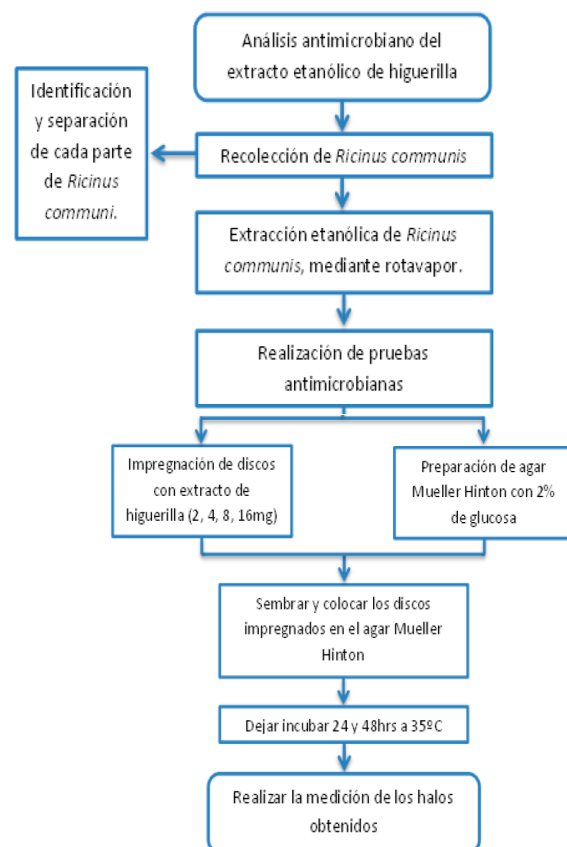


Figura 1. Metodología para la evaluación de los extractos etanólicos de *Ricinus communis*

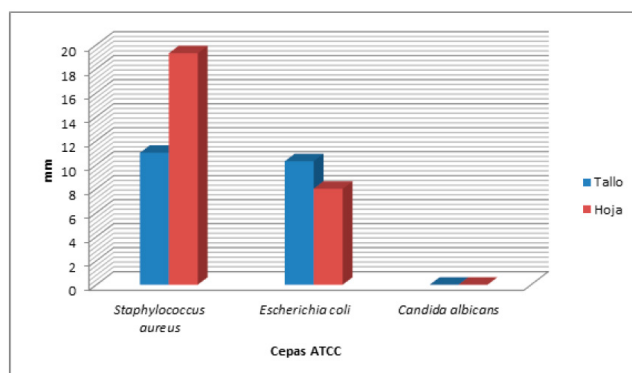
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron dos extractos etanólicos de diferente parte de la planta Higuera (hoja y tallo), ambos se probaron por la técnica de difusión en agar.

La gráfica 1 muestra los resultados más representativos obtenidos a una concentración de 16 mg de los extractos. La actividad antimicrobiana observada, varía dependiendo del tipo de cepa. En el *Staphylococcus aureus* se observa que el extracto de la hoja tiene mayor actividad antimicrobiana, en comparación del tallo. En el caso de la hoja se obtuvo un promedio de halo de inhibición de 19.3 mm y del tallo de 11mm.

Para *Escherichia coli* se observan resultados contrarios, el extracto del tallo tiene mayor actividad antimicrobiana que el de la hoja, en el caso del extracto del tallo se obtuvo un halo de inhibición en promedio de 10.3 mm y el de la hoja fue de 8 mm en promedio.

En el caso de los resultados para *Candida albicans* no se obtuvo ningún efecto inhibitorio para ninguno de los dos extractos (Figura 2).



**Figura 2.** Resultados obtenidos de los extractos etanólicos de hoja y tallo de *Ricinus communis*, a una concentración de 16 mg.

Debido a estos resultados es posible señalar que la actividad antimicrobiana de la parte de la planta dependerá del tipo de cepa, en este caso vemos que la actividad antimicrobiana de las hojas es más potente contra una cepa Gram (+) y el tallo contra una Gram (-) y que no existe efecto inhibitorio contra una levaduras. Estas características antimicrobianas antes mencionadas se puede deber a la cantidad de ciertos componentes (flavonoides, astragalín, hiperosido, rutinósido, xilopiranósido de camferol, quersetina, sus derivados el glucósido y rutinósido, etc.) que tienen cada parte de la planta por lo que es necesario realizar el análisis de componentes de los extractos obtenidos a partir de cada parte de la planta.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados observados para los extractos etanólicos de hojas y tallos de *Ricinus communis*, es posible concluir que el efecto antibacteriano es diferencial entre el sitio de la planta de donde proviene el extracto y el tipo de cepa contra la que tiene actividad.

Fue posible observar que la mayor actividad contra *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 la presenta el extracto obtenido de la hoja y en caso contrario, la mayor actividad contra *Escherichia coli* ATCC 8739 parece poseerlo el extracto obtenido del tallo. Dichos extractos parecen no poseer actividad antifúngica al ser probados contra *Candida albicans* ATCC 14053.

Es necesario profundizar en la composición de cada extracto etanólico de acuerdo con la parte de la planta de que proviene.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo de los Proyectos PAPIIT IT 200915 y PIAP 1623.

## REFERENCIAS

- [1] Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana. (2009). <http://www.medicinatradicional-mexicana.unam.mx>, recuperado el 15 de Junio de 2018.
- [2] Hernández, I. (2015). Plantas medicinales de uso tópico del estado de Veracruz con potencial para agronegocios. ed. Universidad Veracruzana, México.
- [3] Kuklinski, C. (2003). Farmacognocia. Estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural. Ed. Omega, Barcelona, España.
- [4] Lezama, A. (2011). Evaluación del efecto antimicrobico de *Ricinus communis* L. (Higuerilla) sobre tres cepas de hongos. FES Cuautitlan, UNAM.
- [5] Londoño, A. et al. (2010) Estudio comparativo de la actividad antifúngica de un extracto de propóleo mexicano y de tres plantas *Api mellifera* usada para producción. *Journ of Anim and Vet Adv* 9(8):1250-1254.
- [6] Luz Stella Ramirez, D. M. (2009). Guías para evaluar actividad antibacteriana de compuesto de origen vegetal *Scien et Tech*, 263-268.

## IDENTIFICACIÓN MOLECULAR DE CITOMEGALOVIRUS HUMANO EN RECIÉN NACIDOS PREMATUROS FALLECIDOS Y CON DAÑO EN TEJIDO PULMONAR

Diana Laura González-Alvarez<sup>1,2</sup>, Elsa Romelia Moreno-Verduzco<sup>2</sup>, Areli Regina de la Cruz-de la Cruz<sup>3,2</sup>, María Yolotzin Valdespino Vázquez<sup>2</sup>, Salvador Fonseca-Coronado<sup>1</sup>, Diana Soriano Becerril<sup>2</sup>, Ricardo Figueroa-Damián<sup>2</sup>, Alma Herrera-Salazar<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Perinatología, Secretaría de Salud.

<sup>3</sup>Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México

[ahs\\_marh@yahoo.com.mx](mailto:ahs_marh@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

El Citomegalovirus Humano forma parte del grupo de los herpesvirus y es la causa más común de defectos congénitos asociados a infecciones. Las secuelas más severas son pérdida neurosensorial y/o retraso mental con una mortalidad del 4% en recién nacidos prematuros. En estos pacientes, HCMV puede causar neumonitis intersticial difusa llevando a fibrosis y displasia broncopulmonar siendo también de importancia médica los casos de síndrome de insuficiencia respiratoria. Actualmente en México el número de estudios reportados que analizan la infección congénita por HCMV son escasos. Para fortalecer los reportes epidemiológicos de la infección por HCMV, en este trabajo se analizaron 30 casos de una cohorte de recién nacidos prematuros fallecidos y con daño en tejido pulmonar. Se identificó el DNA de HCMV por ensayos de PCR en este tejido, encontrando una frecuencia del 86%.

**PALABRAS CLAVE:** HCMV, infección congénita, necropsias, tejidos FFPE, PCR, pulmón.

### ANTECEDENTES

El citomegalovirus humano (HCMV) o Herpesvirus-5 (HHV-5), perteneciente a la subfamilia  $\beta$ -Herpesviridae, es un virus envuelto de DNA de doble cadena de 235 kilo bases (kb) [1, 2]. Es el más grande de los herpesvirus, como tal, una vez establecida la infección permanece latente en el organismo. La infección por HCMV está ampliamente distribuida a nivel mundial; se ha reportado una seroprevalencia mayor en países en vías de desarrollo y en niveles socioeconómicos bajos [3,4]. HCMV es la principal causa de defectos congénitos asociados a infecciones; la prevalencia de infección por HCMV varía de 0.5-2% en los recién nacidos vivos [5, 6]. El cuadro clínico de infección congénita (IC) puede ser asintomático (85-90%) o sintomático (10-15%),

en el cual se pueden presentar bajo peso, prematurez, succión pobre, microcefalia, neumonitis, hepatomegalia, esplenomegalia, convulsiones, ictericia, petequias, calcificaciones periventriculares, entre otros, así como algunas pruebas de laboratorio anormales [7]. En ambos casos las secuelas más severas son pérdida neurosensorial y/o retraso mental, con una mortalidad del 4% en la IC sintomática [6, 7].

En México, los estudios de infección por HCMV en el contexto perinatal son escasos, localizados en pocas regiones del país y sólo algunos realizados con identificación molecular como prueba confirmatoria. Se han reportado seroprevalencias mayores al 90% en mujeres en edad reproductiva del estado de Morelos [8] y embarazadas de Yucatán [9], y del 66% en mujeres embarazadas de Durango [10]. Así como frecuencias



de IC del 0.68% en San Luis Potosí [11], de 2.5% en pacientes prematuros de la Ciudad de México [12] y del 8.6% en recién nacidos con síndrome de dificultad respiratoria de Baja California [13]. Está reportado que en recién nacidos prematuros, HCMV puede causar neumonitis intersticial difusa y provocar fibrosis y displasia broncopulmonar [14], de aquí surge el interés de nuestro grupo de trabajo debido a que una proporción de la población que atiende el Instituto Nacional de Perinatología (INPer) "Isidro Espinosa de los Reyes" presenta características de relevancia clínica en casos de infección por HCMV.

Las infecciones adquiridas durante el embarazo o inmediatamente al nacimiento repercuten en la morbilidad de las gestantes y de los recién nacidos; lo cual impacta en la salud (abortos, deficiencias, malformaciones y muerte) y genera un alto costo biológico, social y económico. Para fortalecer los reportes epidemiológicos de HCMV en México y contribuir al estudio de la correlación de los hallazgos clínico patológicos y la presencia de HCMV en el paciente, analizamos tejido pulmonar fijado en formalina y embebido en parafina (FFPE) de necropsias de recién nacidos prematuros fallecidos y con daño en pulmones, para identificar genoma viral mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR).

## OBJETIVO

Determinar la frecuencia de HCMV en recién nacidos prematuros fallecidos y con reporte de daño pulmonar en el estudio de necropsia, mediante la amplificación por PCR del gen UL123 y UL55, para contribuir al estudio de la epidemiología del virus.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se realizó un estudio retrospectivo, transversal, descriptivo. Se seleccionaron casos de estudios post-mortem del Departamento de Anatomía Patológica del INPer, ubicado en la Ciudad de México, de prematuros que presentaran daño en tejido pulmonar.

A partir de un corte de 10  $\mu\text{m}$  de pulmón, se extrajo el DNA con el método de Chelex® 100 [15]. Como prueba de integridad se amplificó una región de 201pb del gen endógeno GAPDH utilizando iniciadores reportados previamente [16] y la enzima Taq PCR MasterMix (QIAGEN). Para identificar el genoma de HCMV, se amplificaron los genes UL123 [15] y UL55 [17] con la enzima Platinum Taq DNA Polymerase (Invitrogen). Las

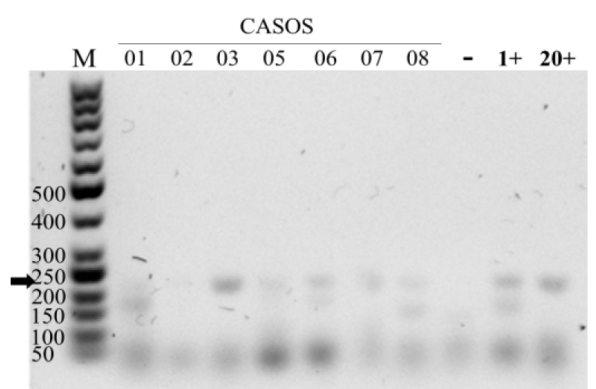
reacciones de PCR se realizaron en un termociclador Mastercycler gradient (Eppendorf) colocando 5  $\mu\text{l}$  de una dilución 1:10 de los extractos de DNA. Como control positivo se utilizó DNA, en concentraciones de 1 y 20 ng, de un corte de riñón positivo a HCMV por ensayo de inmunoperoxidasa.

Todos los productos de PCR fueron visualizados mediante electroforesis en gel de agarosa y teñidos con GelRed™ Nucleic Acid Gel Stain (Biotium). El gel se visualizó en un fotodocumentador Alphalmer HP (Cell Biosciences).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se seleccionaron 35 casos correspondientes al periodo 2012–2014; de los cuales 5 fueron excluidos por ausencia del tejido. Por lo tanto, la población final de estudio constó de 30 muestras.

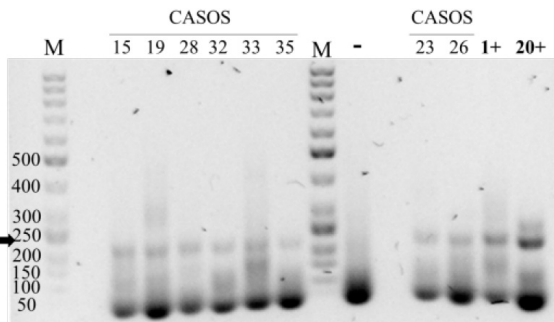
Se amplificó el fragmento de 201 pb del gen GAPDH en todas las muestras, lo que nos permitió comprobar la integridad del DNA extraído y evitar falsos negativos. En la Figura 1 se observan los amplificados del tamaño esperado en las muestras correspondientes a 7 casos, resaltando que en el caso 02 sólo se aprecia una banda tenue. En todos los geles M: marcador de peso molecular de 50pb, -: Control negativo (agua), 1+ y 20+: 1ng o 20 ng de control positivo de DNA.



**Figura 1.** Amplificación de un fragmento de 201 pb del gen endógeno GAPDH.

Se amplificó un fragmento de 220 pb del gen viral UL123 de HCMV para identificar la presencia del virus en el tejido. Se detectó en 26 casos, lo que corresponde a un 86% de las muestras analizadas. En la Figura 2 se muestra un gel representativo con los amplificadores de 8 casos.

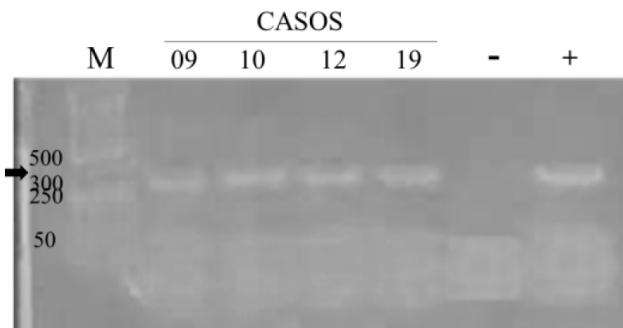
Fig. 2.



**Figura 2.** Amplificación de un fragmento de 220 pb del gen viral UL123.

El gen UL123 corresponde una región principal del antígeno mayor inmediato-early (MIE), que codifica para una proteína encargada de regular la expresión y replicación viral en el hospedador [2]. Ha sido ampliamente utilizado para la identificación de HCMV en muestras cuya extracción de DNA puede acarrear inhibidores de la PCR o contaminantes [18]. Los iniciadores utilizados en este ensayo fueron diseñados por nuestro grupo de trabajo con base en la región amplificada con los iniciadores MIE-4 y MIE-5 pero dirigidos a una región de menor longitud debido a que el DNA analizado en este estudio puede estar degradado por la naturaleza de la muestra conservada en parafina [15, 18, 19].

Para confirmar los casos HCMV positivos, se realizó una segunda PCR de un fragmento de 305 pb del gen viral UL55. Se detectó en los 26 casos positivos. En la Figura 3 se muestra un gel representativo con los amplificadores de 4 casos. Todos los ensayos de PCR fueron validados mediante la amplificación de dos controles HCMV positivos, demostrando la sensibilidad al obtener el fragmento deseado en presencia de 1 ng de DNA; y la especificidad de los iniciadores utilizados. La ausencia de amplificado en el control negativo (agua) indica la ausencia de una contaminación cruzada en los ensayos.

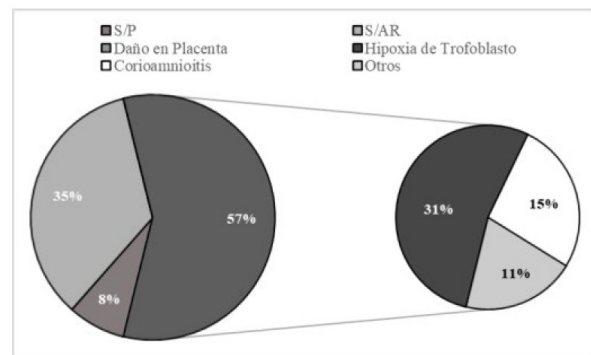


**Figura 3.** Amplificación de un fragmento de 305 pb del gen viral UL55.

El gen UL55 codifica para la glicoproteína B (gB), la cual es un componente de la envoltura lipídica de HCMV que participa en los procesos de unión y entrada del virus a la célula, en la diseminación entre células y en la fusión de éstas [20].

Al analizar los datos de los expedientes de las necropsias, todos los casos HCMV positivos correspondieron a recién nacidos entre las 22 y 35 semanas de gestación. Los casos estudiados correspondieron a pacientes que nacieron y posteriormente fallecieron, varios sin causa de muerte determinada por Anatomía Patológica. Esto abre la posibilidad de analizar la participación de HCMV en esta mortandad pues se ha reportado una mortalidad del 4% en casos de IC sintomática. La IC por HCMV también afecta el sistema nervioso central (SNC). En nuestro grupo de estudio se reportaron alteraciones en SNC en el 42% (11/26) de los casos HCMV positivos, por lo que se sugiere buscar la presencia del virus en este tejido.

El 57% (15/26) de las placentas de los casos HCMV positivos presentaron alteraciones, de las cuales la hipoxia del trofoblasto fue la más frecuente (Figura 4). Está reportado que HCMV causa daño en tejido placentario durante una infección congénita [23].



**Figura 4.** Frecuencia de alteraciones en placentas de los casos HCMV positivos.

Debido al tropismo de HCMV por células endoteliales, epiteliales y fibroblastos [21], el pulmón es uno de los órganos más afectados durante una infección activa. Al elegir un grupo de estudio de alto riesgo, se comprende la alta frecuencia encontrada (86%). De acuerdo con lo reportado anteriormente por Martínez-Contreras et al, la frecuencia de complicaciones pulmonares, neumonía y síndrome de dificultad respiratoria se asocian HCMV, siendo éste el principal agente viral [13]. La infección por HCMV tiene una alta prevalencia mundial. En países subdesarrollados el 90% de la población tiene anticuerpos contra HCMV, frente al 60% estimado en los países desarrollados. En zonas con bajas condiciones socioeconómicas, la mayoría de los niños se ha infectado antes de la pubertad. La aglomeración y la falta de higiene favorecen la transmisión de HCMV [22].

## CONCLUSIONES

La frecuencia de HCMV en recién nacidos prematuros con daño en tejido pulmonar fue de 86%.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el protocolo "Diagnóstico de infección congénita de Citomegalovirus mediante la amplificación del gen UL123 que codifica la proteína IE2-86" con No. de Registro INPer 212250-3120-10607-02-14. A la citotecnóloga María de los Angeles Urrutia Martínez por realizar los cortes de los tejidos.

## REFERENCIAS

[1] Davison, A. J., Dolan, A., Akter, P., Addison, C., (2003) et al. The human cytomegalovirus genome revisited: comparison with the chimpanzee cytomegalovirus genome FN1. *The Journal of General Virology*, 84, 17.

[2] Landolfo, S., Gariglio, M., Gribaudo, G., Lembo, D., (2003) The human cytomegalovirus. *Pharmacology & Therapeutics*, 98, 269.

[3] Cannon, M. J., (2009) Congenital cytomegalovirus (CMV) epidemiology and awareness. *Journal of Clinical Virology*, 46S, S6.

[4] Adland, E., Klenerman, P., Goulder, P., Matthews, P. C., (2015) Ongoing burden of disease and mortality from HIV/CMV coinfection in Africa in the antiretroviral therapy era. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1016.

[5] Benoist, G., Leruez-Ville, M., Magny, J. F., Jacquemard, F., et al. (2013) Management of pregnancies with confirmed cytomegalovirus fetal infection. *Fetal Diagnosis and Therapy*, 33, 203.

[6] Manicklal, S., Emery, V. C., Lazzarotto, T., Boppana, S. B., et al. (2013) The "silent" global burden of congenital cytomegalovirus. *Clinical Microbiology Reviews*, 26, 86.

[7] Joseph, A., Mahida, N., Irving, W., Soo, S., (2013) Congenital cytomegalovirus infection. *Paediatrics and Child Health*, 24, 255.

[8] Echániz-Avilés, G., Tamayo-Legorreta, E., Cruz-Valdez, A., Rangel-Flores, H., et al. (1993) Prevalencia de anticuerpos contra citomegalovirus en mujeres en edad reproductiva. *Salud Pública de México*, 35, 20.

[9] Polanco-Marín, G. G., Puerto, F. I., Puerto-Solís, M., González-Losa, M. R., et al. (1996) Prevalencia e incidencia de infección por citomegalovirus en mujeres embarazadas del estado de Yucatán, México. *Revista Biomédica*, 7, 127.

[10] Alvarado-Esquivel, C., Hernández-Tinoco, J., Sánchez-Anguiano, L. F., Ramos-Nevárez, A., et al. (2014) Seroepidemiology of cytomegalovirus infection in pregnant women in Durango City, Mexico. *BMC Infectious Diseases*, 14, 484.

[11] Noyola, D. E., Matienzo-Serment, L., Rodríguez-Vidal, S. O., Ochoa-Pérez, U. R., et al. (2011) Infección congénita por citomegalovirus en recién nacidos del estado de San Luis Potosí, México. *Salud Pública de México*, 53, 513.

[12] Arellano-Galindo, J., Villanueva-García, D., Cruz-Ramírez, J. L., Yalaupari-Mejía, J. P., et al. (2014) Detection and gB genotyping of CMV in Mexican preterm infants in the context of maternal seropositivity. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 8, 758.

[13] Martínez-Contreras, A., Lira, R., Soria-Rodríguez, C., Hori-Oshima, S, et al. (2015) Citomegalovirus: infección congénita y presentación clínica en recién nacidos con síndrome de dificultad respiratoria. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 53, 286.

[14] Coclite, E., Di-Natale, C., Nigro, G., (2013) Congenital and perinatal cytomegalovirus lung infection. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 26, 1671.

[15] de la Cruz-de la Cruz, A. R. (2017). Identifica-

ción de los genotipos de glicoproteína B de citomegalovirus en tejidos conservados en parafina de neonatos con sospecha de infección congénita. Tesis. UNAM.

[16] Heydt, C., Fassunke, J., Künstlinger, H., Ihle, M. A., et al. (2014) Comparison of pre-analytical FFPE sample preparation methods and their impact on massively parallel sequencing in routine diagnostics. *Plos One*, 9 , e104566.

[17] Chou, S., Dennison, K. M., Analysis of interstrain variation in cytomegalovirus glycoprotein B sequences encoding neutralization-related epitopes *The Journal of Infectious Diseases*, 163 (1991) 1229.

[18] Demmler, G. J., Buffone, G. J., Schimbor, C. M., May, R. A., (1988) Detection of cytomegalovirus in urine from newborns by using polymerase chain reaction DNA amplification. *The Journal of Infectious Diseases*, 158, 1177.

[19] B. P. Bass, K. B. Engel, S. R. Greytak, H. M. Moore, (2014) A Review of Preanalytical Factors Affecting Molecular, Protein, and Morphological Analysis of Formalin-Fixed, Paraffin-Embedded (FFPE) Tissue: How Well Do You Know Your FFPE Specimen?. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, 138. 1520.

[20] Brañas, P., et al. (2015) Cytomegalovirus Genotype Distribution Among Congenitally and Postnatally Infected Patients: Association of Particular Glycoprotein (g)B and gN Types With Symptomatic Disease. *Open Forum Infectious Diseases*, 2 ,1.

[21] Shenk, T., Stinski, M. F. (2008). Functional roles of the human cytomegalovirus essential IE86 protein. *Human Cytomegalovirus*. Springer, USA.

## IMPORTANCIA DE LA CIENCIAS QUÍMICAS COMO ANTECEDENTE EN EL DESARROLLO DE LOS HIPOGLICEMIANTES Y ANTIHIPERGLICEMIANTES MODERNOS, REVISIÓN

Erick García Rosales<sup>1</sup>, Martha Isela Ramírez Díaz<sup>2</sup>, Cesar Rogelio Solorio Alvarado<sup>3</sup>,  
Rafael Ortiz Alvarado\*<sup>1</sup>, Lucía Matilde Nava Barrios\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Químico Biológicas Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

<sup>3</sup>Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato

[lnava14@udavinci.edu.mx](mailto:lnava14@udavinci.edu.mx), [rortizalvarado@gmail.com](mailto:rortizalvarado@gmail.com)

### RESUMEN

Las ciencias químicas como la química orgánica aclara de manera adecuada la función entre las diferentes moléculas con actividad farmacológica específica como hipoglicemiantes y antihiperghlicemiantes, lo cual no queda claro para los diferentes estudiantes de nivel superior de ciencias médicas, farmacéuticas, bioquímicas o biotecnológicas que usan, prueban y desarrollan diferentes moléculas con estas clasificaciones (hipoglicemiantes y antihiperghlicemiantes), por lo que el presente documento tiene como objetivo revisar la relevancia estructural entre las moléculas hipoglicemiantes y las moléculas con antihiperghlicemiantes, tomando como base los antecedentes fitoquímicos hasta los modernos antihiperghlicemiantes multimodales como la metformina, ampliamente usada en el Tratamiento de la Diabetes Mellitus, de esta manera el presente trabajo plantea a la química orgánica como un puente didáctico para la comprensión y tratamiento integral de la Diabetes Mellitus, a través de moléculas con mecanismo de acción diferente.

**PALABRAS CLAVE:** Hipoglicemiantes, antihiperghlicemiantes, Galaga officinalis, Diabetes Mellitus, Bisguanidinas.

### ANTECEDENTES

Dentro de la formación de los futuros profesionales de las áreas de las ciencias químicas y áreas afines como son las ciencias médicas, las ciencias farmacéuticas, la bioquímica y biotecnológica, se ha encontrado que uno de los problemas más significativos para el aprendizaje que enfrentan los estudiantes de estas diferentes disciplinas, radica en poder comprender los fundamentos químicos básicos los principios activos empleados con la finalidad de disminuir la glucosa sérica en los pacientes con algún tipo de Diabetes. El presente trabajo realiza una revisión referente a los productos de tipo fitoquímico que sirvieron como punto de partida para los actuales hipoglicemiantes y antihiperghlicemiantes. Estos productos tiene estructuras químicas similares pero se han realizado sobre sus núcleos básicos cam-

bios estructurales por medio de síntesis química que hacen necesaria una reclasificación en función de la relación estructura-actividad terapéutica. Los principios activos empleados para el tratamiento integral de los diferentes tipos de Diabetes Mellitus se clasifican en a) hipoglicemiantes y b) antihiperghlicemiantes. El presente trabajo analiza y establece la diferencia entre las estructuras químicas y sus funciones biológicas (acción farmacológica) de cada uno de los principios activos antidiabéticos como una herramienta para la enseñanza de química orgánica, aplicada al tratamiento integral y no fragmentado, favoreciendo así también el tratamiento de la Diabetes Mellitus, como un problema de salud con enfoque multidisciplinario.

## Antecedentes históricos de la metformina y presentaciones farmacéuticas

La metformina se utiliza actualmente como parte del tratamiento para la Diabetes Mellitus de tipo 2, sin embargo existen evidencias documentales europeas, sobre todo, que hacen referencia al uso de la *Galega officinalis* para tratar las enfermedades relacionadas con el incremento de glucosa en la sangre, esta planta contiene guanidina, (Tabla 1) la cual ha mostrado actividad en la disminución de la concentración de la glucosa sérica y fue la base de la investigación que ha llevado hasta la síntesis y caracterización farmacológica de la actual metformina [1]. Actualmente la mayoría de los fármacos de este tipo se obtienen por síntesis orgánica pero se sigue señalando en las actuales farmacopeas el uso de plantas como *G. officinalis* para el tratamiento de la Diabetes Mellitus de tipo 2 [1]. Ya en el siglo XX, se experimentó con el uso de derivados de la guanidina, esto debido a la toxicidad de este principio observado en los ensayos clínicos y se obtuvo la isomilena guanidina con una menor toxicidad que la molécula de base. A comienzos, de los años 30 del siglo pasado inicia el uso de moléculas sintéticas como son la decametilen-diguanida (Synthalin A) y la dodecametilen diguanida (Synthalin B) [3], estas moléculas fueron mejor toleradas en los ensayos clínicos. La dodecametilen diguanida fue utilizada ampliamente en la Alemania de la Segunda Guerra Mundial [4]. Estas investigaciones fueron los precursores de las primeras biguanidas sintéticas como la dimetilbiguanida que en ensayos con animales disminuyó la concentración de glucosa eficazmente y mostró ser menos tóxica que las moléculas anteriormente descritas, pero no se probó en ensayos clínicos durante los años 30, hasta que los médicos Jean Sterne y Denise Duval en Francia en 1956 comenzaron a utilizar estas moléculas con actividad hipoglicémica y antihiperlipidémicas en pacientes con Diabetes Mellitus de tipo 2. Describieron las propiedades farmacológicas de varias de estas biguanidas. Así el grupo de Sterne seleccionó a la dimetilbiguanida (metformina) para la descripción clínica completa de la misma en pacientes con Diabetes Mellitus de tipo 2 en sus estudios realizados a finales de los años 70 [9].

## OBJETIVO

Realizar una revisión referente a la naturaleza química de los principios activos utilizados para el tratamiento integral de la Diabetes Mellitus, principalmente la metformina, con la finalidad de señalar las moléculas base originales y los cambios que han sufrido para llegar a la clasificación actual de los hipoglicémicos e antihiperlipidémicos.

## DESARROLLO

La clasificación de la diabetes ha ido cambiando, así como el tratamiento que se emplea para cada caso. Sin embargo todos ellos convergen en un punto común: el exceso de glucosa en sangre (hiperglucemia). Lo anterior ha generado una gran cantidad de tratamientos o fármacos de administración oral contra la hiperglucemia. Entre estos medicamentos distinguimos 7 grupos principales:

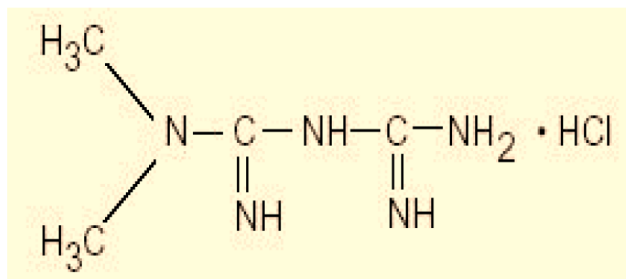
1. Bisguanidinas
2. Tiazolidindionas (glitazonas)
3. Sulfonilureas
4. Meglitinidas (glinidas)
5. Inhibidores de la dipeptidil peptidasa 4 (DPP 4)
6. Agonistas del Péptido 1 similar al glucagón (GLP-1)
7. Inhibidores de la alfa glucosidasa

Entre ellos el grupo más representativo son las bisguanidinas ya que son los compuestos más comúnmente empleados, comercializados y estudiados a la fecha. Dentro de este grupo, profundizaremos el análisis en el desarrollo específicamente de la metformina ya que ha sido empleada también como molécula base de otros fármacos importantes como phenformina o buformina (Tabla 1).

## Presentación farmacéutica de la metformina.

El clorhidrato de metformina es un compuesto cristalino blanco con una fórmula molecular  $C_4H_{11}N_5 \cdot HCl$  y de peso molecular de 165.63 g/mol, es soluble en agua y prácticamente insoluble en acetona, éter etílico y cloroformo. El pKa de la metformina es de 12.4. El pH de una solución acuosa al 1% de clorhidrato de metformina, es de 6,68. Las formas farmacéuticas se presentan como tabletas que contienen concentraciones de 500 mg, 850 mg, y 1000 mg de clorhidrato de metformina. Cada tableta de estas concentraciones contiene ingredientes inactivos como excipientes po-

vidona, polietilen-glicol y estearato de magnesio. Adicionalmente la cubierta para las tabletas puede contener lactosa monohidratada y dióxido de titanio.



**Figura 4.** Frecuencia de alteraciones en placentas de los casos HCMV positivos.

### Farmacología clínica (Mecanismo de acción)

La metformina es un agente antihiper glucémico que mejora la tolerancia a la glucosa en pacientes con Diabetes Mellitus de tipo 2, disminuyendo la concentración de glucosa sérica en ayuno y la posprandial. La metformina posee un mecanismo único entre los hipoglucemiantes orales, disminuye la síntesis de la glucosa a nivel hepático, permite un decremento de la absorción de la glucosa nivel intestinal y mejora la sensibilidad de la glucosa sérica para su metabolismo a través de los músculos y otras células a nivel sistémico. A diferencia de las sulfonilureas, la metformina no produce estados hipoglucemiantes en los pacientes con Diabetes Mellitus de tipo 2 o pacientes normoglicémicos por lo que en el tratamiento con metformina, la secreción de insulina permanece sin cambios, mientras que los niveles de insulina en ayuno y la respuesta plasmática de insulina durante un día pueden disminuir, resta establecer aún si este fármaco es capaz de inducir hiperinsulinemia.

### Farmacocinética

La biodisponibilidad de la metformina en presentación en tabletas de 500 mg presenta una concentración sérica de aproximadamente del 50 al 60 % al término de 6 horas después de su ingesta, existe una interacción con la ingesta alimentaria en donde los alimentos disminuyen al área y retrasan ligeramente la absorción de la metformina, como se muestra aproximadamente una concentración plasmática máxima (Concentración

máxima) del 40% inferior, un área 25% inferior bajo la curva de concentración plasmática versus tiempo y una prolongación de 35 minutos [6].

### Moléculas anteriores a la metformina

La fenformina y la buformina presentaron una mayor actividad hipoglucemiantes que la metformina e inicialmente se usaron con más frecuencia, [8], pero su asociación con la acidosis láctica llevó a la discontinuación en su venta en la mayoría de los países en los años setenta del siglo pasado [1]. Así el uso de la metformina puede haber sido retrasada por la asociación y comercialización con phenformina y buformina, pero la creciente evidencia confirma la eficacia antihiper glucémica de la metformina sin comprometer estados hipoglucémicos o aumento significativo de triglicéridos a nivel sérico [8].

### Comercialización

El Director Ejecutivo, Dr. Gerry Daniel, de Liplha Pharmaceuticals (ahora Merck), desarrolló comercialmente la metformina en 1995 en los Estados Unidos consiguiendo la Autorización del FDA y siguió comercializándose bajo la franquicia de Bristol Myers Squibb, Actualmente la metformina se mezcla con otros agentes antidiabéticos y es producida por muchas casas farmacéuticas.

Otras biguanidas y otros derivados de guanidina como agentes con potencial antidiabético, han sido documentados [2]. Sin embargo los diferentes mecanismos de acción y variabilidad en la farmacocinética no han permitido su uso independiente como el de la metformina, a la cual le confieren una relación riesgo-beneficio adecuada para el tratamiento de los pacientes que cursan con Diabetes Mellitus de Tipo 2 [6,11].

### Impacto en México

De acuerdo con la Federación Mexicana de Diabetes A.C., la diabetes se encuentra entre las primeras causas de muerte en nuestro país. En 2012 se diagnosticaron en México 6.4 millones de personas con la enfermedad, prevaleciendo de manera más significativa en el Distrito Federal, Nuevo León, Veracruz, Tamaulipas, Durango y San Luis Potosí. Lo anterior representa un grave problema social no solamente desde el punto de vista de salud. Si hablamos en términos económicos, este padeci-

miento implica un gasto sumamente elevado para la república mexicana pues se ha estimado que se necesitan alrededor de 3 430 millones de dólares anualmente para dar tratamiento y atención de manera general a estos pacientes.

Guanidine	$\begin{array}{c} \text{NH} \\ \parallel \\ \text{NH}_2 - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$
Galegine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{C} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{NH} - \begin{array}{c} \text{NH} \\ \parallel \\ \text{C} - \text{NH}_2 \end{array} \\ \diagdown \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Synthelin A	$\begin{array}{c} \text{NH} \qquad \qquad \qquad \text{NH} \\ \parallel \qquad \qquad \qquad \parallel \\ \text{NH}_2 - \text{C} - \text{NH} - (\text{CH}_2)_{10} - \text{NH} - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$
Synthelin B	$\begin{array}{c} \text{NH} \qquad \qquad \qquad \text{NH} \\ \parallel \qquad \qquad \qquad \parallel \\ \text{NH}_2 - \text{C} - \text{NH} - (\text{CH}_2)_{12} - \text{NH} - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$
Biguanide	$\begin{array}{c} \text{NH} \qquad \qquad \text{NH} \\ \parallel \qquad \qquad \parallel \\ \text{NH}_2 - \text{C} - \text{NH} - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$
Metformin	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \text{NH} \qquad \text{NH} \\ \diagup \qquad \parallel \qquad \parallel \\ \text{N} - \text{C} - \text{NH} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \diagdown \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Phenformin	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 - (\text{CH}_2)_2 - \text{N} - \begin{array}{c} \text{NH} \\ \parallel \\ \text{C} - \text{NH} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \parallel \\ \text{H} \end{array} \end{array}$
Bufornin	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_3 - \text{N} - \begin{array}{c} \text{NH} \\ \parallel \\ \text{C} - \text{NH} - \text{C} - \text{NH}_2 \\ \parallel \\ \text{H} \end{array} \end{array}$

**Tabla 1.** Estructura Química de Moléculas actualmente en uso con actividad hipoglicemiante y antihiperlipicemiante.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo pone de manifiesto la clara importancia de un enfoque químico en el diseño de moléculas con actividad hipoglicemiante, desde el inicio de los estudios de fitofármacos hasta las actuales moléculas antihiperlipicemiantes como la metformina, obtenidas por síntesis orgánica por lo que es necesario que los profesionales de la salud, cuenten con formación sólida en esta área del conocimiento para mejoramiento racional de los principios activos actualmente en uso.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó con el apoyo de CAEC-211 de Fisiopatologías de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## REFERENCIAS

- [1] Bailey, C.J., Day, C., (1989). Traditional plant medicines as treatments for diabetes. *Diabetes Care*; 12: 553–564.
- [2] Beckman, R., (1971) Biguanide (Expermenteller Teil). In *Handbook of experimental pharmacology* 29. Maske H (ed). Berlin: Springer Verlag,; 439–596.
- [3] *British Herbal Pharmacopoeia*. Keighley, UK: British Herbal Medicine Association, 1976.
- [4] Chen, K.K., Anderson, R.C., (1947) The toxicity and general pharmacology of N1-p-chlorophenyl-N5-isopropyl biguanide. *J Pharmacol Exp Ther*; 91: 157–160.
- [5] Duke, J.A., (2002) *Handbook of medicinal herbs*, 2nd ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 337.
- [6] Howlett, H.C.S., Bailey, C.J., (1999) A risk–benefit assessment of metformin in type 2 diabetes mellitus. *Drug Safety*; 20: 489–503.
- [7] *Metformin\_Its\_botanical\_background.pdf* Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/244783582\\_Metformin\\_Its\\_botanical\\_background](https://www.researchgate.net/publication/244783582_Metformin_Its_botanical_background)
- [8] Natrass, M., Alberti, K.G.M.M., (1978) Biguanides. *Diabetologia*; 14:71–74.
- [9] Schafer, G., (1983) Biguanides: a review of history, Pharmacodynamics and therapy. *Diabetes Metab Rev*; 9: 148–163.
- [10] Sterne, J., (1957) Du nouveau dans les antidiabetiques. La NN dimethylamineguanyl guanide (N.N.D.G.). *Maroc Med*; 36: 1295–1296.
- [11] Shapiro, S. L., Parrino, V.A., Freedman, L. (1959) Hypoglycaemic agents. IV. N,N-alkyl and aralkylbiguanides. *J Am Chem Soc*; 81: 4635–4639.
- [12] Wiernsperger, N.F., (1996) Preclinical pharmacology of biguanides. *Handbook of Experimental Pharmacology*; 119:305–358.



## LODOS RESIDUALES Y RESTOS DE JARDINERÍA DE LA FES ACATLÁN COMO SUSTRATOS PARA LOMBRICOMPOSTAJE Y DESARROLLO DE LOMBRIZ (*Eisenia foetida*)

Alejandra Guadalupe Villegas Pañeda<sup>1</sup>, Norman Beltrán Mendoza<sup>1</sup>, Hermenegildo Arcos Serrano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Tecnología Ambiental, UIM, FES Acatlán, UNAM

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería Civil, FES Acatlán, UNAM

[alejandragvipa@gmail.com](mailto:alejandragvipa@gmail.com), [arcoserrano@gmail.com](mailto:arcoserrano@gmail.com)

### RESUMEN

El aprovechamiento de residuos orgánicos es una necesidad actual para combatir el deterioro ambiental. Una opción económicamente viable es el lombricompostaje de residuos orgánicos para el aprovechamiento de los productos en la agricultura y la jardinería en ciudades. La PTAR FES Acatlán produce lodos residuales y restos de jardinería que pueden ser aprovechados para la producción de abono y la crianza de lombriz *Eisenia foetida*. En este trabajo se evaluó el efecto de diversas combinaciones de lodo residual y jardinería, procedentes de la FES Acatlán, en el desarrollo y reproducción de la lombriz. Se determinaron también algunas características fisicoquímicas de los abonos producidos, con base en la normatividad mexicana para humus de lombriz.

**PALABRAS CLAVE:** lombricompostaje, lodo residual, residuo sólido.

### ANTECEDENTES

El reciclaje y la recuperación de residuos orgánicos es una necesidad actual para combatir el deterioro ambiental. Los lodos que se generan en los procesos biológicos del tratamiento de agua residual son desechos orgánicos que pueden ser valorizados y que requieren una disposición adecuada [1]. El tratamiento de lodo residual mediante reactores de digestión o incineración es costoso, por lo que una alternativa es su uso en los suelos agrícolas para añadir macro y micro nutrientes y materia orgánica. Sin embargo, esta práctica puede provocar problemas ambientales debido a la egresión de patógenos humanos hacia el agua, el suelo y el aire, por lo que es necesario un paso previo de estabilización [2].

El compostaje y el lombricompostaje son dos tratamientos de estabilización biológica conocidos desde

1970 [3,4], los cuales son aplicables al lodo residual. El compostaje es un proceso de fermentación microbiana que involucra una etapa mesófila, una termófila y una de maduración, mientras que el lombricompostaje (o vermicompostaje) depende de la acción conjunta de lombrices y microorganismos y no requiere de una etapa termófila. El lombricompostaje involucra, entre otros procesos, la biooxidación, la digestión y la mineralización de materia orgánica. Durante el lombricompostaje, nutrientes importantes como el nitrógeno, potasio, fósforo y calcio, presentes en el sustrato, son convertidos en formas más disponibles y asimilables para las plantas, con respecto al material inicial [5]. Los microorganismos producen la descomposición bioquímica de la materia orgánica y las lombrices asisten en la fragmentación del material fresco, incrementando

el área superficial disponible para favorecer la colonización microbiana [6]. Los materiales digeridos en el intestino de las lombrices muestran propiedades agrícolas mejoradas (buena textura, son fácilmente metabolizados por bacterias, hongos y actinomicetos) y están enriquecidos por sustancias denominadas factores de crecimiento [7]. Existen diversas especies de lombrices que son utilizadas, entre ellas: *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei* y *Eudrilus eugeniae*. Además de la producción de abono, la crianza de lombriz es una actividad con potencial económico por el uso de dichos organismos en la avicultura, la piscicultura, o como pie de cría.

La Facultad de Estudios Superiores Acatlán cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que genera lodos durante su proceso operativo. Entre otros residuos orgánicos, también se desecha un volumen importante de residuos de jardinería provenientes del mantenimiento de 66 827 m<sup>2</sup> de áreas verdes de la Facultad. Es una prioridad ambiental proponer opciones viables para aprovechar, valorizar y reducir los costos de disposición final de los residuos sólidos que se generan. Una alternativa provechosa es el lombricompostaje con la lombriz *Eisenia foetida*, para generar un producto útil. En un trabajo previo se determinó que el lodo proveniente de la PTAR FES Acatlán contiene un 65% de materia orgánica y sus características fisicoquímicas lo hacen un excelente sustrato para su biotransformación en abono [8], sin embargo, es necesario optimizar los parámetros de lombricompostaje, para lograr una proporción adecuada de carbono/ nitrógeno en el sustrato y garantizar el desarrollo y reproducción óptimos de la lombriz. En este trabajo se evaluaron combinaciones de lodo residual y jardinería, procedentes de la FES Acatlán, en el desarrollo y reproducción de la lombriz. Adicionalmente, se determinaron algunas características fisicoquímicas de los abonos producidos.

## OBJETIVOS

Evaluar el lodo residual, restos de jardinería de la FES Acatlán y combinaciones de ambos, como sustratos para la reproducción, crecimiento y adaptación de la lombriz (*Eisenia foetida*) en lombricompostaje. Evaluar algunas características fisicoquímicas de los productos obtenidos con base en la NMX-FF-109-SCFI-2008.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se obtuvo una muestra de lodo secundario de la PTAR de la FES Acatlán. El lodo con 96% de humedad se deshidrató mediante sedimentación y secado térmico a 40°C para obtener un material con contenido de humedad en un intervalo de 70 a 80% m/m. Los residuos de jardinería se recuperaron del sitio de transferencia de residuos sólidos de la Facultad, cuya composición es de partes aéreas vegetales secas, principalmente. Se construyó, a escala de laboratorio, un cajón de madera para lombricompostaje con dimensiones de 1.5 dm x 1.0 dm x 1.35 dm para cada tratamiento a evaluar. El lodo residual (LR) se mezcló con los restos de jardinería (RJ) en distintas proporciones volumétricas, de acuerdo a la tabla 1, para producir cinco tratamientos de 1 dm<sup>3</sup> de volumen final.

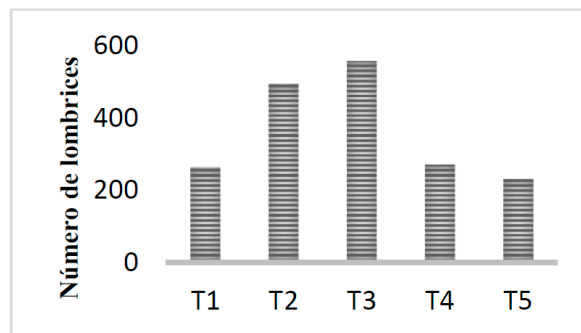
Tratamiento	Descripción
T1	LR (100)
T2	LR+ RJ (75:25)
T3	LR+ RJ (50:50)
T4	LR+ RJ (25:75)
T5	RJ (100)

**Tabla 1.** Descripción de los distintos tratamientos para lombricompostaje

Después de una estabilización de 4 días, se sembró un total de 20 lombrices juveniles / dm<sup>3</sup> de sustrato. Los experimentos se cubrieron con malla mosquitero para favorecer la aireación y evitar la entrada de insectos; se mantuvieron en un laboratorio oscuro, a una temperatura de 20 ± 5°C, los tratamientos se regaron continuamente con agua potable para mantener la humedad en un intervalo de 60 a 70% m/m.



**Figura 1.** Tratamientos experimentales T1 al T5 de izquierda a derecha



**Figura 2.** Total de individuos después de 105 días de lombricompostaje

El período de bioconversión en lombricomposta fue de 105 días. Posteriormente se cosecharon los productos, y para cada tratamiento se realizó el conteo de cápsulas viables, de organismos totales y la clasificación por estado de desarrollo de las lombrices. Se midió el peso y la longitud de 15 especímenes adultos por tratamiento. Para evaluar el crecimiento en peso y longitud de las lombrices, se midió el peso inicial aproximado que resultó para las juveniles, de 0.221g y 6.55 cm, y para las cliteladas 0.33g y 8.5 cm. Las lombricompostas se tamizaron a través de malla 4 y se determinó su calidad fisicoquímica final mediante la medición de los siguientes parámetros, con base en la NMX-FF-109-SCFI-2008 Humus de lombriz; Especificaciones y métodos de prueba: pH, conductividad eléctrica (CE), densidad aparente y materia orgánica en base seca (MO). Los análisis de pH y conductividad se realizaron por potenciometría y la materia orgánica mediante calcinación. Las determinaciones se realizaron por duplicado. Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en el crecimiento y adaptación de la lombriz y un análisis de Tukey, en el caso del peso, para la separación de medias a una significancia del 5%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento, reproducción y adaptación de las lombrices: La Figura 1 muestra el total de individuos al finalizar el experimento, donde T3 y T2 mostraron los mayores potenciales de reproducción de organismos; en ninguno de los tratamientos se observó disminución de la población inoculada.

En la Tabla 1 se especifica el total final de organismos, así como el porcentaje de variación entre la población inicial y la población final. En todos los tratamientos se observa un alto potencial reproductivo de la lombriz, en los casos particulares de T1 y T5, que corresponden a los sustratos sin mezclar, se encontraron los menores valores tanto en la producción de cápsulas como en el número final de organismos.

Tratamiento	Población final	% Población con el inicial
T1	263	1315
T2	495	2475
T3	557	2785
T4	270	1350
T5	230	1150

**Tabla 1.** Número de lombrices después de 105 días de lombricompostaje

El caso específico de T3, con la mayor tasa de reproducción de organismos, exhibe una relación inversa entre reproducción y peso, relación que se observa también en T1, que exhibe una baja tasa reproductiva, pero el mayor valor de peso en los individuos. En este caso, a pesar de la naturaleza altamente nutritiva del material, el estado físico del lodo es un factor de estrés en la lombriz que genera un enfoque energético hacia el crecimiento corporal, en detrimento de la reproducción [9].

En T5 existe una relación directa entre reproducción y peso debido a que los restos de jardinería son un sustrato nutritivamente deficiente y de lenta descomposición, factores que dificultan la adaptación de la lombriz (Tabla 2 y Figura 2).

Tratamiento	Cliteladas	Juveniles	Cápsulas viables
T1	21	242	166
T2	18	477	323
T3	15	542	363
T4	10	260	394
T5	10	220	155

Tabla 2. Desarrollo y reproducción de la lombriz

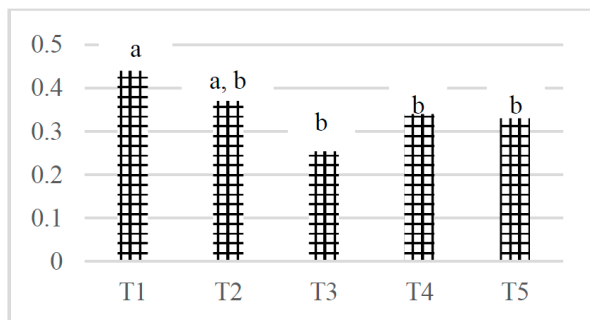


Figura 2. Peso promedio de lombrices juveniles (\*a y b indican los grupos de separación de medias)

En la evaluación de peso en lombrices, los tratamientos se ubicaron estadísticamente en 2 grupos: T1 y T2 (0.44 y 0.37 g/individuo) y T2, T3, T4 y T5 (0.37, 0.32, 0.33, 0.33 g/individuo), respectivamente. Los valores generales de peso promedio alcanzaron un mínimo de 0.21g y un máximo de 0.8 g por individuo. Respecto a su crecimiento (longitud), no se observó diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, y se definieron valores promedio entre un mínimo de longitud de 4.5 cm y un máximo de 10.0 cm.

Características fisicoquímicas de los abonos obtenidos: En la Tabla 3 se informan la caracterización fisicoquímica de los abonos obtenidos. Para todos

los tratamientos se obtuvieron productos estables que cumplen las especificaciones de la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 para humus de lombriz. El pH ligeramente ácido de los productos de T1 a T4 se debe probablemente al CO<sub>2</sub> y ácidos orgánicos, productos del metabolismo microbiano de descomposición. En el caso de T5, que presentó un pH ligeramente más alcalino al normado, podría proponerse un mayor tiempo de estabilización post-cosecha. Todos los tratamientos presentaron un alto contenido de materia orgánica en los productos, parámetro importante para garantizar que su aplicación mejorará la fertilidad y calidad del suelo tratado.

Tratamiento	pH	CE dS/m	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	M.O. % m/m
Guía oficial	5.5-8.5	≤ 4	0.40-0.90	20-50
T1	5.8	2.4	0.62	44.7
T2	5.6	2.5	0.53	44.5
T3	5.7	2.3	0.51	43.2
T4	6.8	1.6	0.49	42.8
T5	8.8	0.6	0.38	39.3

Tabla 3. Características fisicoquímicas de los abonos

## CONCLUSIONES

El crecimiento (peso) y reproducción de la lombriz *Eisenia foetida* están directamente relacionados con el sustrato que se utiliza para su reproducción. El lodo residual de la PTAR FES Acatlán es un material idóneo para su biotransformación mediante lombricompostaje y la crianza de lombriz. La mezcla de lodo residual y restos de jardinería en proporciones 50:50 y 75:25 son los mejores sustratos para la reproducción de la lombriz, mientras que el lodo residual produjo el mejor crecimiento (peso), aunque la velocidad de su biotransformación es lenta. Se obtuvo, en todos los casos, abonos orgánicos con características fisicoquímicas que cumplen con la norma oficial mexicana de humus de lombriz. El presente estudio se complementará con la caracterización química completa de macro y micronutrientes en las lombricompostas obtenidas.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Programa de Apoyo a la Investigación para el Desarrollo y la Innovación (PAIDI-002/2017) por el apoyo económico recibido y a la Ing. Leydi Rubi Pérez Vera, jefa del Departamento de Tecnología Ambiental.

## REFERENCIAS

- [1] Abdelmajid, J., Mohamed, G., Revel, J.C., Hafidi, M., (2005) Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 56, 101-108.
- [2] Franco, O., Mckelligan-G.,N., López O., A., Espinosa C. F., Escamilla S., E y Dendooven, L., (2003) Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. *Bioresearch Technology*, 87, 93-102.
- [3] Hartenstein, R., (1978) The most important problem in sludge management as seen by a biologist. En: Hartenstein, R. (ed.) *Utilization of Soil Organisms in Sludge Management*. Natl. Tech. Inf. Serv., PB286932, Springfield, Virginia, 2-8.
- [4] Hartenstein, R., Hartenstein, F., (1981) Physicochemical changes effected in activated sludge by the earthworm *Eisenia foetida*. *Journal of Environmental Quality* 10, 372-376.
- [5] Solís, M.L., Islas, E.M., Esteller, M.V., (2012) Vermicomposting of sewage sludge: Earthworm population and agronomic advantages. *Compost science and utilization*, 20, 11, 11-17.
- [6] Calderín G.A., Guridi I.F., (2014) *Effects of Humic Materials on Plant Metabolism and Agricultural Productivity*, Academic Press, 10, 1449-466.
- [7] Díaz, L.F., De Bertoldi M., Bidlingmaier, W. and Stentiford, E., (2007) *Compost Science and Technology*. Waste Management Series V.8. The Netherlands and U.K., 67-176.
- [8] Villegas, P.A.G., Beltrán, M. N., Arcos, S. H. Caracterización de lodos generados en la PTAR de la FES-Acatlán, junio 2017 (Cartel)
- [9] Aira, M., Domínguez, J., Monroy, F., Velando, A., (2007) Stress promotes changes in resource allocation to growth and reproduction in a simultaneous hermaphrodite with indeterminate growth. *Biological Journal of the Linnean Society*, 91, 593-600.

## EFFECTO DEL BATIL-ALCOHOL COMO MODULADOR DE LA ABSORCIÓN TRANSDÉRMICA DE AVOBENZONA

Gerardo Santillán García<sup>1</sup>, Flora Adriana Ganem Rondero<sup>1</sup>, María Guadalupe Nava Arzaluz<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

[gsantillangarcia@gmail.com](mailto:gsantillangarcia@gmail.com)

### RESUMEN

La radiación solar es imprescindible para la vida, pero en ciertas circunstancias puede causar efectos dañinos sobre la piel, la exposición excesiva a esta radiación causa daños que pueden ir desde quemaduras solares hasta cáncer de piel, por lo que el uso de fotoprotectores tópicos ha ido en aumento, no obstante, algunos fotoprotectores químicos como la avobenzona pueden penetrar a través de la piel, no siendo del todo seguros. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto modulador del batil-alcohol sobre la permeación transdérmica de avobenzona. Se realizaron estudios de permeación in-vitro en celdas de difusión tipo Franz utilizando como membrana piel de oreja de cerdo. Se demostró que el batil-alcohol funciona como retardador de la permeación transdérmica al impedir por completo el paso del filtro solar a través de la piel de oreja de cerdo.

**PALABRAS CLAVE:** Permeación transdérmica, Avobenzona, Filtro solar, Batil-alcohol, Moduladores de absorción.

### ANTECEDENTES

El cáncer de piel es el segundo más frecuente en México según datos del 2001. Es una manifestación de daño solar acumulado: la excesiva y recurrente exposición al sol, desde la infancia y sin cuidados, es el factor número uno en el desarrollo de esta enfermedad [1].

La radiación solar que recibimos está compuesta entre otras por las radiaciones ultravioleta y visible. Los daños producidos en la piel se deben a la radiación ultravioleta (UV), esta se divide en rayos UV tipo A (UVA), tipo B (UVB) y tipo C (UVC) esta última no llega a la superficie terrestre gracias a la capa de ozono. Una medida de protección y prevención para evitar que la radiación UV llegue a producir daños, es la aplicación tópica de productos que contengan en su formulación compuestos que de algún modo eviten el contacto de la radiación con la piel, a estos compuestos se les llama filtros solares. Existen dos tipos de filtros solares, los filtros

solares físicos que reflejan y dispersan los rayos UV y los filtros solares químicos que absorben la radiación solar. Además de clasificarse por su función, los filtros solares también se clasifican de acuerdo con los tipos de rayos UV de los cuales protegen a la piel, ya que pueden resguardar de los UVA, otros de los UVB e incluso existen filtros que actúan protegiendo de ambas radiaciones [2].

La regulación que deben seguir los productores de filtros solares en México es la NOM 141 SSA1/SCFI-2012 que regula y reglamenta las leyendas de las etiquetas y con el Acuerdo por el que se determinan las sustancias prohibidas y restringidas en la elaboración de productos de perfumería y belleza, que en su apartado quinto enlista las sustancias que pueden utilizarse en la manufactura de filtros solares [3,4].

Es deseable que estos no sean absorbidos a capas más profundas de la piel y mucho menos que pasen a circulación sistémica, ya que algunos han mostrado tener efectos tóxicos.

La Avobenzona (1-(4-ter-butil-fenil)-3-(4-metoxifenil) propano-1,3-diona) es un filtro solar químico soluble en aceite, capaz de absorber la radiación a lo largo de todo el espectro de UVA. Hasta hace poco este filtro solar se consideraba seguro, sin embargo, se ha reportado que la avobenzona sufre fotodegradación que resulta en la generación de radicales libres, lo que puede aumentar el riesgo de cáncer [5]. Debido a lo expuesto anteriormente es necesario utilizar estrategias que limiten el paso de este filtro solar a través de la piel, para evitar el daño producido por los radicales libres generados, una de estas estrategias es empleando retardadores de la permeación. Se ha reportado que algunos alquilglicérols retardan la penetración transdérmica, entre estos el batil-alcohol [6].

## OBJETIVO(S)

Evaluar el efecto del batil-alcohol sobre la permeación transdérmica de Avobenzona a través de piel de oreja de cerdo

## PARTE EXPERIMENTAL

### Reactivos

Los reactivos que se utilizaron en este trabajo son los siguientes: Fosfato monobásico de potasio, hidróxido de sodio, polioxietilén 20 sorbitan monolaurato (Tween® 20), Avobenzona, 2-(2-Etoxietoxi) etanol (Transcutol®), Batil-alcohol, alcohol etílico.

### Material biológico

Piel de oreja de cerdo. Esta se obtuvo del rastro local, antes de que el cerdo fuese pasado por agua caliente. Se desprendió la parte superior de la piel con ayuda de un bisturí y se cortó con un dermatoma para tener un espesor de 700  $\mu\text{m}$ , una vez cortada se congeló a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su uso.

### Equipos

Balanza analítica, Agitador magnético multiplaza, espectrofotómetro UV-Vis HITACHI U-5100, microcentrífuga, dermatoma, baño de agua de acrílico, termostato.

### Estudios de permeación

La permeación de avobenzona a través de la piel fue evaluada usando celdas verticales de difusión tipo Franz (Figura 1). Se colocó entre los compartimentos donador y receptor de la celda de Franz piel de oreja

de cerdo con un grosor de 600-700  $\mu\text{m}$  previamente hidratada. Se montó una celda blanco y siete celdas con avobenzona. El medio donador de la celda blanco solo fue Transcutol® y las demás celdas consistió de una solución de avobenzona al 6% (p/v) en Transcutol®. El medio receptor consistió de 2 ml de solución amortiguadora de fosfatos pH 7.4 adicionado con Tween® 20 al 6% con agitación constante para evitar que se forme una zona de estancamiento y mantener condiciones sink. El área disponible para la difusión fue de 0.7854  $\text{cm}^2$ . La temperatura se controló a  $37^{\circ}\text{C}$ . Se tomaron muestras cada 1.5 horas, durante 7.5 horas con reposición del medio y a las 24 horas. Las muestras obtenidas se leyeron en un espectrofotómetro a 360 nm para determinar su absorbancia y estas se interpolaron en una curva de calibración.

En los estudios de permeación con batil-alcohol se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente, solo que en el medio donador de las celdas problema, se adicionó además de la Avobenzona al 6%, el batil-alcohol al 1%.

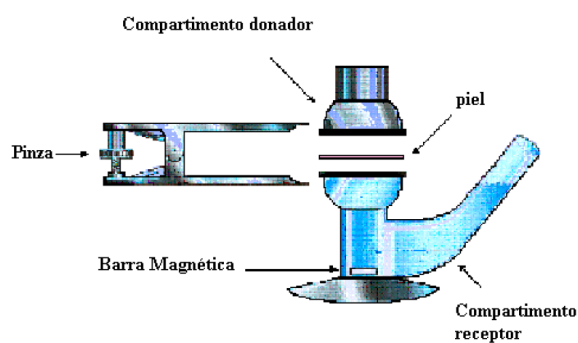


Figura 1. Celda de difusión tipo Franz

### Determinación del fármaco retenido en la piel

Una vez terminada la permeación, la piel se lavó dos veces con agua, para eliminar la formulación de la superficie, se cortó en fragmentos pequeños, se colocó en viales conteniendo 5 ml de etanol, los viales se taparon y se agitaron durante 24 horas. Posteriormente, las soluciones obtenidas se filtraron y se analizaron por espectrofotometría UV a una longitud de onda de 360 nm.

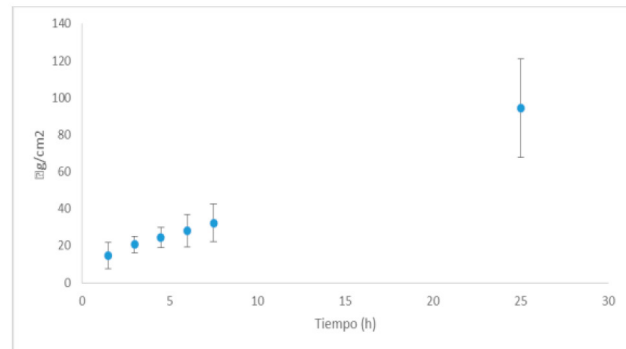
Los métodos analíticos utilizados para la cuantificación de la avobenzona en los estudios de permeación y retenido en la piel, fueron previamente validados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los productos de cuidado personal como los filtros solares idealmente se espera que sean retenidos en la piel con una mínima penetración en la misma y así evitar o minimizar la toxicidad sistémica y potenciar los efectos benéficos. Se ha reportado que hay compuestos que actúan como retardadores de la permeación. Idealmente, un retardador de la penetración debe ser química y farmacológicamente inerte, no tóxico, no irritante y no alergénico, compatible con los ingredientes de la formulación y cosméticamente aceptable (que no imparta olor y color al producto), además, su efecto debe ser rápido, reversible y potente a bajas concentraciones [6]. En este estudio, se investigó el batil-alcohol como potencial retardante de la penetración en un modelo in-vitro de piel de oreja de cerdo. Se utilizó como vehículo el Transcutol®, el cual es un promotor de absorción [6], este se utilizó con la finalidad de disolver el batil-alcohol y la avobenzona.

Un mínimo de seis muestras es recomendado para determinar la velocidad de liberación de un fármaco en un producto tópico. El tiempo de muestreo puede variar dependiendo de la formulación. Una alícuota del medio receptor es removida a cada intervalo del muestreo y remplazada por una alícuota del medio fresco, con el objeto de que la membrana permanezca en contacto con la fase receptora durante el periodo de tiempo experimental [2, 7]. El tiempo de muestreo en este experimento se determinó realizando diversos estudios in-vitro, obteniéndose que un intervalo de 1.5 h entre cada muestreo era adecuado para detectar y cuantificar la avobenzona en la fase receptora.

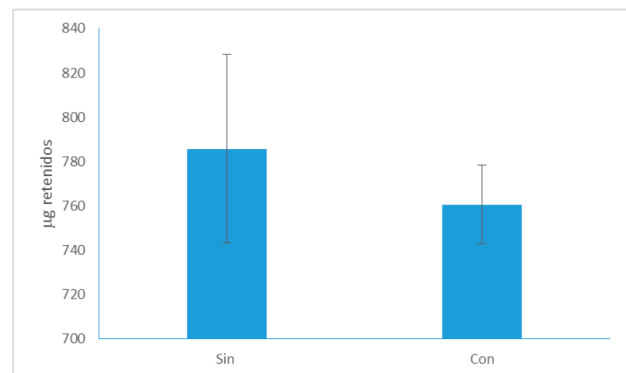
La Figura 2 muestra los resultados obtenidos en la permeación in-vitro, se puede observar que la avobenzona disuelta en Transcutol® es capaz de permear a través de la piel obteniéndose un flujo de 3.4  $\mu\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{h}$ , al adicionar el batil-alcohol al 1% junto con la avobenzona en Transcutol® no se detectó avobenzona en la fase receptora, por lo que podemos decir que el batil-alcohol actúa como retardante de la absorción de esta molécula.



**Figura 2.** Permeación de Avobenzona en Transcutol® a través de la piel de oreja de cerdo

En 2017 (Bernal et al.) demostró que estos alquilgliceroles funcionan de manera diferente al ser aplicados a un epitelio diferente a la mucosa intestinal, como lo es la piel, evaluaron la permeación a través de la piel de tres analgésicos (diclofenaco, naproxeno y piroxicam) empleando como moduladores de la permeación estos alquilgliceroles y demostraron que estos moduladores de la absorción actúan como retardadores de la penetración, efecto atribuido a la interacción de los alquilgliceroles con los lípidos intercelulares del estrato córneo, haciendo la barrera de permeabilidad más eficiente, traduciendo en una reducción de la permeación de los fármacos evaluados [6].

Así mismo, el batil-alcohol redujo la cantidad de avobenzona retenida en la piel (Figura 3), sin embargo, no hay diferencia estadísticamente significativa al no emplear batil-alcohol, por lo que es necesario realizar otras pruebas que determinen si la avobenzona es retenida en el estrato córneo o en capas más profundas de la epidermis.



**Figura 3.** Cantidad de avobenzona retenida en la piel ( $\mu\text{g}$ ) después de la permeación. (Sin= Sin Batil-alcohol; Con= Con Batil-alcohol)



El efecto retardante del batil-alcohol en la penetración de avobenzona puede sugerir su posible aplicación en fotoprotectores tópicos, con una eficacia mejorada y efectos secundarios reducidos.

## CONCLUSIONES

- Se demostró que los alquiglicerolos, en este caso el Batil-alcohol, retrasa la permeación transdérmica del filtro solar químico avobenzona, lo cual sería muy útil para potenciar los efectos benéficos de la misma como filtro solar, disminuyendo su potencial de dañar la piel por la formación de radicales libres.
- Los resultados obtenidos permitirán continuar con esta línea de investigación, se propone evaluar el efecto retardador en la permeación por parte del batil-alcohol con otros filtros solares.

## AGRADECIMIENTOS

CONACYT (292701), PAPIIT (IN216016), PIAPI1641.

## REFERENCIAS

- [1] El universal. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/salud/2017/04/6/cancer-de-piel-el-segundo-mas-frecuente-en>
- [2] González, G., (2010). Posibilidades de aplicación de la espectrofotometría UV al análisis cuantitativo de los filtros solares: Avobenzona, Octilmetoxicinamato y Oxibenzona en cremas faciales. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- [3] Norma Oficial Mexicana NOM-141-SSA1/SCFI-2012, Etiquetado para productos cosméticos preenvasados. Etiquetado sanitario y comercial. DOF - Diario Oficial de la Federación, viernes 14 de febrero de 2014
- [4] Acuerdo por el que se determinan las sustancias prohibidas y restringidas en la elaboración de productos de perfumería y belleza. Secretaria de Salud, 2010
- [5] N. Lionetti, L., (2017) The New Sunscreens among Formulation Strategy, Stability Issues, Changing Norms, Safety and Efficacy Evaluations. *Cosmetics*, 4 doi:10.3390/cosmetics4020015
- [6] Bernal, S., Pérez, L., Nava, M. G., Ganem, A., (2017) Alkylglycerol Derivates, a New Class of Skin Penetration Modulators, *Molecules*, 2, 22.
- [7] Moser, K., Kriwet, K., Naik, A., Kalia, Y.N., Guy, R.H., (2001) Passive skin penetration enhancement and its quantification in vitro. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 52, 103.

## DISEÑO, DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE UN IMPLANTE SUBDÉRMICO DE DEXAMETASONA.

Selene Martínez Mendoza<sup>1</sup>, Dr. José Juan Escobar Chávez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

[selenereynoldscore@hotmail.com](mailto:selenereynoldscore@hotmail.com) [josejuanescobar@gmail.com](mailto:josejuanescobar@gmail.com)

### RESUMEN

Se elaboró un Implante Subdérmico de un antiinflamatorio para ejercer su función como coadyuvante en el tratamiento de patologías crónicas ya que en investigaciones recientes se ha descubierto que la Dexametasona además de actuar como antiinflamatorio es usada en hematopatías malignas, estados alérgicos, trastornos endocrinos, enfermedades dermatológicas y oftálmicas. Por ende, se buscó diseñar y desarrollar una forma farmacéutica que implicará la fabricación con polímeros biodegradables de un Implante Subdérmico, proporcionando así al paciente innovación y confort en el tratamiento de dichas enfermedades, reduciendo las desventajas, reacciones adversas y contraindicaciones que traen consigo las administraciones convencionales de dexametasona.(oral, i. m, tópica).

**PALABRAS CLAVE:** Implante Subdérmico, Administración Subcutánea, Absorción Subcutánea, Polímeros Biodegradables, Dexametasona.

### ANTECEDENTES

Se le llama administración por vía subcutánea (SC) o hipodérmica cuando se administra un medicamento en el tejido conectivo laxo y tejido adiposo situados bajo la piel, las formas farmacéuticas que se pueden administrar son soluciones o suspensiones, aunque también pueden ser por implantación de comprimidos de liberación sostenida o pellets. Los tejidos conectivo laxo y adiposo que son los receptores de los medicamentos que se administran por vía SC, constituyen en conjunto un tejido blando y laminado, formado por fibras de colágeno unidas por medio de ácido hialurónico que actúa como cementante. [1]

Numerosos fármacos se comercializan o se desarrollan actualmente para muchas enfermedades y trastornos, particularmente como agentes anticancerígenos o antiinflamatorios.

La administración subcutánea puede ofrecer ventajas adicionales para bioterapéuticos con un corto

tiempo de residencia en el cuerpo. La absorción lenta después de la administración subcutánea puede conducir a una farmacocinética de velocidad de absorción limitada y, por lo tanto, a una exposición sistémica prolongada. [2]

Después de la administración subcutánea, sin embargo, el bioterapéutico se inyecta en el espacio extracelular del tejido subcutáneo; desde allí debe ser transportado a sangre o capilares linfáticos para su absorción, antes de alcanzar la circulación sistémica. Estos procesos están influenciados tanto por las propiedades de los factores bioterapéuticos como por los factores del huésped.

Procesos de transporte presistémico después de la administración subcutánea.

La administración subcutánea dispone al fármaco o bioterapéuticos dosificado en el tejido subcutáneo (hipodermis), donde reside el material del fármaco y se transporta hasta que se absorbe en la sangre o en los capilares linfáticos. Por lo tanto, la hipodermis es

de interés clave para comprender el comportamiento de absorción de bioterapéuticos después de la administración subcutánea. La estructura de la hipodermis difiere entre las especies. En resumen, la hipodermis humana consiste en tejido adiposo, es decir, lóbulos grasos que están separados por tabiques de tejido conectivo suelto (areolar). Los principales componentes celulares de la hipodermis son las células adiposas y, en menor medida, los fibroblastos y los macrófagos. Los fibroblastos producen componentes de la matriz extracelular (MEC) como el colágeno y los glicosaminoglicanos (GAG). Los tabiques de tejido conectivo representan la mayoría del espacio intersticial en la hipodermis. En los septos, una red fibrosa de colágeno une la dermis a la fascia profunda que cubre el músculo esquelético de debajo y, por lo tanto, mantiene la estructura mecánica de la piel. [2]

#### ABSORCIÓN A TRAVÉS DEL SISTEMA LINFÁTICO.

Las proteínas más grandes se absorben predominantemente a través del sistema linfático. La absorción dentro del sistema linfático generalmente ocurre en los linfáticos iniciales (es decir, capilares linfáticos y precoletores). Un plexo de capilares linfáticos se encuentra en la dermis a una profundidad de aprox. 200  $\mu$ m. Estos capilares linfáticos drenan en los precoletores linfáticos, que forman un segundo plexo en la unión dermis-subcutis. Desde allí, la linfa drena a través de los colectores linfáticos en los tabiques de tejido conectivo de la subcutánea al siguiente ganglio linfático. La contribución de las partes individuales de los vasos linfáticos en la dermis y el subcutis a la absorción linfática de los fármacos bioterapéuticos administrados por vía subcutánea queda por aclarar. Por lo tanto, se desconoce si el plexo en la dermis contribuye a la absorción. Los capilares linfáticos son ciegos y están compuestos por una sola capa de células endoteliales superpuestas, y carecen de uniones estrechas célula-célula, así como de una membrana basal continua. Por lo general, los capilares linfáticos se colapsan. Las células endoteliales linfáticas se unen a través de filamentos de anclaje a fibras de colágeno de la matriz extracelular. El aumento de la presión intersticial estira las fibras y conduce a una abertura de la luz linfática. La conexión suelta entre las células endoteliales permite la entrada fácil de fluidos y macromoléculas en el capilar linfático. Por lo tanto, a diferencia de los capilares sanguíneos, permiten una entrada fácil de solu-

tos de gran peso molecular, como proteínas, lo que favorece la absorción linfática de bioterapéuticos grandes. Hay poca o ninguna exclusión de ninguna proteína intersticial durante el transporte del espacio intersticial al capilar linfático, de modo que la linfa primaria tiene casi la misma composición que el líquido intersticial. La linfa primaria fluye desde los capilares a través de los conductos colectores a un ganglio linfático regional. En el ganglio linfático, se produce el intercambio de fluidos para equilibrar las fuerzas de Starling (presión hidrostática y coloidal-osmótica) entre la linfa y los capilares sanguíneos. Aproximadamente la mitad del agua de la linfa puede reabsorberse en sangre, de modo que las concentraciones de solutos en la linfa posnodal pueden exceder las del fluido intersticial y la linfa primaria. La linfa posnodal de la mayoría del cuerpo se recoge en el conducto torácico, que desemboca en la vena subclavia izquierda. [2]

#### OBJETIVOS

##### GENERAL

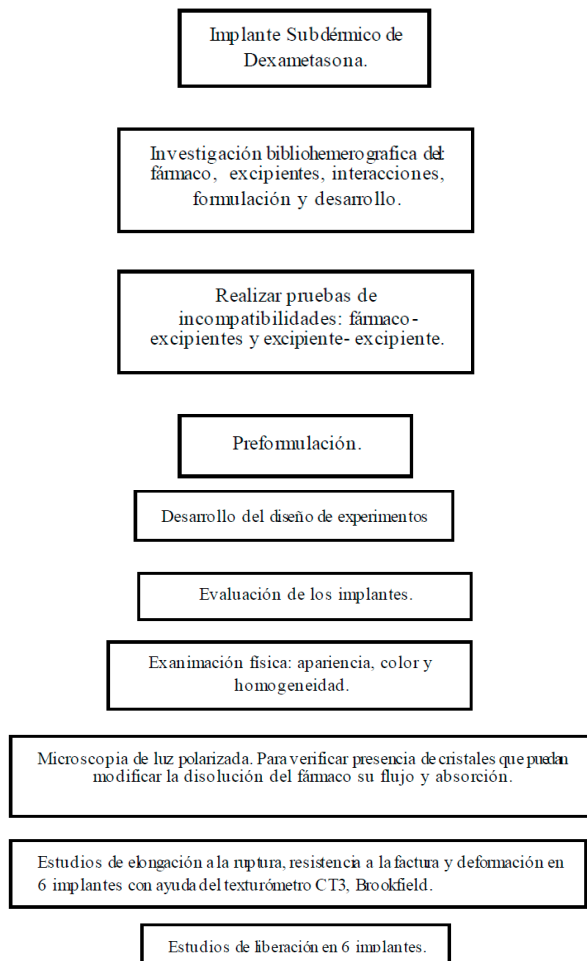
Desarrollar un implante Subdérmico de Dexametasona usando una mezcla de polímeros biodegradables (Polyvinyl Éter-alt-Ácido Maléico y Polyvinyl Alcohol) para formar una matriz polimérica que permita la liberación paulatina del fármaco insertado en un implante en la piel con la finalidad de proponerse como una alternativa novedosa para el tratamiento de ciertas enfermedades crónicas.

##### PARTICULARES

-Hacer un diseño de experimentos, con la ayuda del programa Statgraphics, Centurion para obtener la formulación óptima.

-Realizar la caracterización fisicoquímica del implante subdérmico, mediante pruebas fisicoquímicas (deformación, elongación hasta la ruptura, resistencia a la fractura, determinación de pH, contenido químico, espesor, tamaño, peso y estudios de liberación, tiempo de desintegración-hinchamiento etc.) para este tipo de formas farmacéuticas.

### DESARROLLO EXPERIMENTAL.



### RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Con el programa Statgraphics Plus® se obtuvo un diseño experimental para conseguir la formulación óptima del implante Subdérmico de Dexameasone 1.5 mg.

Datos/Variabes:

- pH.
- Ruptura (gf).
- Viscosidad (cp).

	Mínimo Observado	Máximo Observado
<i>Respuesta</i>		
pH	3,36	5,43
ruptura	1320,38	5528,53
viscosidad	0,0	1380,0

	Deseabilidad Baja	Deseabilidad Alta	Meta	Pesos Primero	Pesos Segundo	Impacto
<i>Respuesta</i>						
pH	3,0	5,0	Maximizar	1,0		3,0
ruptura	1320,0	5528,0	Maximizar	1,0		3,0
viscosidad	0,0	1380,0	Maximizar	1,0		3,0

Fila	pH	Ruptura	Viscosidad	Deseabilidad Prevista	Deseabilidad Observada
1	4,21	3489,17	1040,0	0,585124	0,617129
2	4,51	3635,83	100,0	0,252265	0,3111
3	3,96	5528,53	0,0	0,411339	0,0
4	4,43	3168,33	780,0	0,468568	0,562007
5	4,73	3670,83	380,0	0,530279	0,510531
6	4,3	2040,35	0,0	0,0	0,0
7	3,36	1320,38	0,0	0,0	0,0
8	3,92	1689,17	0,0	0,260599	0,0
9	5,43	3560,83	1260,0	0,832648	0,786336
10	4,43	3104,82	0,0	0,423027	0,0
11	5,1	3265,0	1380,0	0,811019	0,775181
12	4,47	2617,67	760,0	0,468668	0,49977
13	3,99	5495,0	0,0	0,0	0,0
14	4,8	2770,0	350,0	0,524168	0,428458
15	4,32	1752,5	120,0	0,248221	0,180684
16	4,97	3071,5	1020,0	0,585138	0,671682
17	4,16	2455,56	0,0	0,0	0,0
18	4,03	1735,83	0,0	0,257774	0,0

La fórmula óptima arrojada por el programa Statgraphics ® es la número 9.

#### OPTIMIZAR DESEABILIDAD

Valor óptimo = 0,82201

Factor	Bajo	Alto	Optimo
PVA	0,25	2,0	2,0
Acido Maleico	0,05	0,2	0,05

Respuesta	Óptimo
pH	5,18819
ruptura	3727,52
viscosidad	1339,72

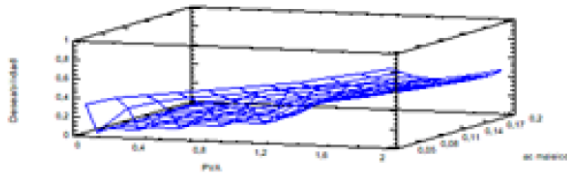


Ilustración 1. Superficie de Respuesta Estimada Variables.



Ilustración 2. Implantes Subdérmicos de Dexametasona

Se realizó por sextuplicado la prueba de ruptura a 6 implantes cargados con una dosis de dexametasona de 1.5 mg.

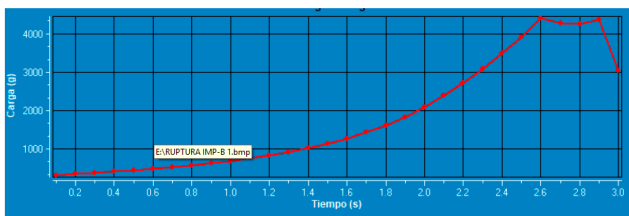


Figura 1. Gráfica representativa. Prueba de Ruptura Implante Subdérmico Dexametasona 1.5 mg.

## CONCLUSIONES.

Se obtuvo la formulación óptima de un Implante de Dexametasona de 1.5 mg con ayuda del programa Statgraphics®.

Se realizaron pruebas de caracterización fisicoquímicas tanto del gel como de Implante de Dexametasona 1.5 mg obteniéndose buenas propiedades fisicoquímicas de la formulación óptima del implante. La siguiente fase comprenderá la realización de los estudios de liberación de dexametasona del Implante Subdérmico.

## AGRADECIMIENTOS.

Se agradece al proyecto PAPIIT IT 200218 y PIAPIME 4.31.35.18.

## REFERENCIAS.

- [1] Serrano- Catañeda, P., Guadarrama, E.O.R., Escobar, C.J.J., Melgoza, C.L.M., López, A.R., Revilla, V.A.L., (2015) Liberación de pravastatina sódica formulada en matrices de quitosan/pluronic-F127. Revista cubana de Farmacia.49 (1):18-28.
- [2] Santos, R. Bernardo y Guerrero A, (1994) Administración de Medicamentos: Teoría y Práctica. España: Ediciones Díaz de Santos S. A.
- [3] U.S. Food and Drug Administration. Recuperado de: <https://www.fda.gov/>
- [4] Escalona-Rayó, C., (2016). Formulación y optimización de un parche bucal mucoadhesivo para la entrega unidireccional de tartrato de metropolol: una alternativa a la vía oral en el tratamiento de la hipertensión arterial. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- [5] Tyler, Praveen. (1999). Recuperado de: <http://oreon.dgbiblio.unam.mx/?rn=977488827>

## EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE NUEVOS COMPUESTOS DERIVADOS DE BENZIMIDAZOLES, HIDRAZIDAS, PIRAZOL Y PIRIDAZINA, FRENTE A *Escherichia coli*.

Sol Yessenia González Cruz<sup>1</sup>, Ricardo Alfredo Luna Mora<sup>1</sup>, Betsabé Rodríguez Pérez<sup>\*1</sup>,  
Tonatiuh Alejandro Cruz Sánchez<sup>1</sup>, Guillermo Penieres Carrillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

[penieres@unam.mx](mailto:penieres@unam.mx)

### RESUMEN

Las enfermedades infecciosas constituyen un gran problema de salud pública en todo el mundo; *Escherichia coli* ha demostrado tener cepas causantes de algunas de ellas, las cuales han generado, además, multirresistencia al tratamiento antibiótico; es por ello que en el presente trabajo se evaluaron 67 nuevos compuestos obtenidos a partir de síntesis orgánica, para comprobar si alguno tiene actividad antibiótica efectiva contra *E. coli* (ATCC 8793), este efecto se determinó a partir de antibiogramas mediante la técnica de difusión radial en disco sobre agar, encontrando tres compuestos muy eficientes: A7, C1 y C2, su actividad es comparable a la de antibióticos comerciales de amplio espectro.

**PALABRAS CLAVE:** *Escherichia coli*, antimicrobianos, antibiograma, benzimidazol, hidrazida, pirazol, piridazina.

### ANTECEDENTES

*Escherichia coli*, de la familia Enterobacteriaceae, pertenece a un grupo de bacterias presentes en el intestino del ser humano y animales [1], forma parte de la microbiota intestinal [2], sin embargo existen cepas causantes de enfermedades infecciosas, las cuales pueden estar limitadas a mucosas o bien, diseminarse [1].

Las cepas de *E. coli* productoras de diarreas se clasifican en: *E. coli* enteropatógena (EPEC), *E. coli* enterohemorrágica o productora de toxina Shiga (EHEC o STEC), *E. coli* enterotoxigénica (ETEC), *E. coli* enteroinvasiva (EIEC), *E. coli* enteroagregativa (EAEC) y *E. coli* adherencia difusa (DAEC) [3], mientras que los patotipos extraintestinales están representados por *E. coli* uropatógeno (UPEC) y *E. coli* de la meningitis neonatal (NMEC) [4]. Las enfermedades causadas por *E. coli* varía según el patotipo y serotipo de la bacteria que esté causando la enfermedad infecciosa, así mismo su tratamiento.

En general, para las infecciones causadas por enteropatógenos, el apoyo principal para el tratamiento es la rehidratación, preferiblemente oral, seguida por la incorporación de los alimentos según su tolerancia. La decisión de usar terapia con antibióticos debe hacerse tomando en cuenta diversos factores propios del individuo y su entorno; se deben considerar además los patrones de resistencia generados por la cepa [4].

La razón por la que existen algunos antibióticos más efectivos que otros en el tratamiento contra *E. coli*, se debe al mecanismo de acción por el cual actúa cada uno, es decir, la molécula que funja como blanco terapéutico. En general, desde el punto de vista molecular, los antimicrobianos de uso clínico se clasifican por el sitio o ruta metabólica donde ejercen su acción; las estructuras o funciones bacterianas afectadas, pueden generar la inhibición de la síntesis de la pared bacteriana, la alteración de la integridad de la membrana citoplásmica, la interrupción de la síntesis protéica o el bloqueo de la síntesis de las mismas, así como tam-

bién alterar la integridad o las funciones de los ácidos nucleicos [5].

Se sabe que los benzimidazoles han sido ampliamente utilizados en agricultura y medicina veterinaria como fungicidas y drogas antihelmínticas, lo que ha llevado a una investigación intensiva para dilucidar su modo de acción a detalle [6]; por otro lado los pirazoles y piridazinas son moléculas que se han encontrado formando parte de compuestos de gran importancia biológica y algunos se han utilizado como agentes antibacterianos o drogas radiosensibilizantes [7]; se ha informado también que los derivados de las hidrazidas poseen actividades anticonvulsivantes, antioxidantes, antagonistas de hormonas, analgésicas, antiinflamatorias, antiplaquetarias, antipalúdicas, antimicrobianas, antitumorales, vasodilatadoras, antivirales y antitripanosómicas [8]. Es a partir de lo anteriormente descrito que se decidió probar su efectividad antimicrobiana, en especial contra *E. coli*.

## OBJETIVO

Evaluar la actividad antimicrobiana de nuevos compuestos derivados de benzimidazoles, hidrazidas, pirazol y piridazina, frente a *Escherichia coli*, utilizando el método de difusión radial en disco sobre agar para realizar una comparación del efecto bactericida comparándolos con antibióticos comerciales.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

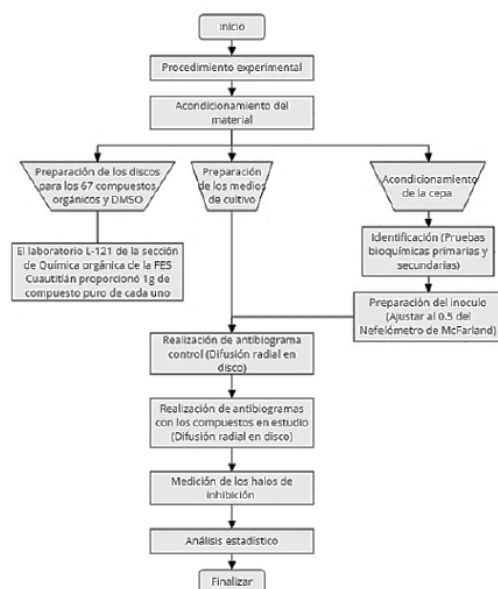


Figura 1. Diseño experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se decidió utilizar una cepa de *Escherichia coli* ATCC 8739 como microorganismo problema debido a que puede considerarse representativa del grupo de las bacterias Gram(-). Para tener un punto de comparación entre el efecto producido por antibióticos de uso clínico y el efecto causado por los compuestos en estudio, se realizó un antibiograma con un sistema de Multidiscos® combinado BIORAD, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 1.** Resultados de los halos de inhibición producidos a *Escherichia coli* ATCC 8739 con antibióticos del sistema de Multidiscos® combinado BIORAD, aplicado como control positivo.

Antimicrobiano	S / R
Amikacina (AK) 30 µg	S (17 mm)
Ampicilina (AM) 10 µg	R (Sin halo)
Cefalotina (CF) 30 µg	R (Sin halo)
Ceftriaxona (CRO) 30 µg	S (26 mm)
Cloranfenicol (CL) 30 µg	S (29 mm)
Dicloxacilina (DC) 1 µg	R (Sin halo)
Enoxacina (ENX) 10 µg	R (Sin halo)
Eritromicina (E) 15 µg	R (Sin halo)
Gentamicina (GE) 10 µg	R (13 mm)
Netilmicina (NET) 30 µg	S (18 mm)
Penicilina (PE) 10 U	R (Sin halo)
Trimetoprim-Sulfametoxazol(SXT) 25 µg	S (30 mm)

Donde:

Halo de inhibición  $\leq 15$  mm = Sensible (S)

Halo de inhibición  $\geq 16$  mm = Resistente (R)

Como se observa en la tabla 1, los antibióticos que dieron mejores resultados fueron Trimetoprim-Sulfametoxazol (SXT); es a partir de estos que se realizó la comparación de los resultados obtenidos para los compuestos orgánicos evaluados.

Se decidió utilizar como disolvente DMSO, puesto que se ha considerado como un disolvente universal [9] y eso aseguraría una mayor cantidad de compuestos disueltos, además de que se ha comprobado que su toxicidad es tan baja que el principal uso que se le ha dado es como vehículo para administrar fármacos [10], lo cual se comprobó al utilizarlo como control negativo.

La concentración empleada fue de 0.4 mg de compuesto/ $\mu$ l de DMSO. A pesar de ser una concentración alta en comparación con la contenida en el sistema de Multidiscos®, fue útil para conocer si los compuestos orgánicos poseen actividad antimicrobiana y en caso de confirmarse tal interrogante, realizar estudios posteriores con diluciones a concentraciones más bajas para obtener los puntos críticos de sensibilidad de cada compuesto.

El grupo A, conformado por diez compuestos derivados del 1H-benzimidazol, generó resultados variables, encontrando que el compuesto con menor efecto fue el A4 y el de mayor efecto el A7, con 14 mm el primero y 30 mm el segundo; cabe mencionar que algunos compuestos fueron incapaces de generar halos de inhibición.

El grupo B surge a partir del 5-nitro-1H-benzimidazol; este grupo también se conforma por 10 compuestos, de los cuales el B1, B6 y B9 produjeron los halos de inhibición más considerables, en especial B6 con 17 mm; sin embargo el efecto provocado no es comparable con el producido por SXT.

El siguiente grupo, que deriva del 5-amino-1H-benzimidazol y fue designado como C, fue en general el que presentó mayor efectividad contra la bacteria problema, sin embargo resaltan los compuestos C1 y C2, quienes generaron halos de inhibición de 29 mm y 31 mm respectivamente; este efecto es comparable e incluso mayor al producido por SXT, por lo que resulta de interés dilucidar el mecanismo de acción mediante el cual actúan.

El grupo D, que parte del 5-fenilamino-1H-benzimidazol, de manera general fue muy poco efectivo como antimicrobiano contra E. coli, ya que los halos que produjeron los compuestos que lo conforman fueron iguales o menores a los producidos por GE, antibiótico de uso clínico utilizado como control positivo que resultó el menos efectivo contra E. coli.

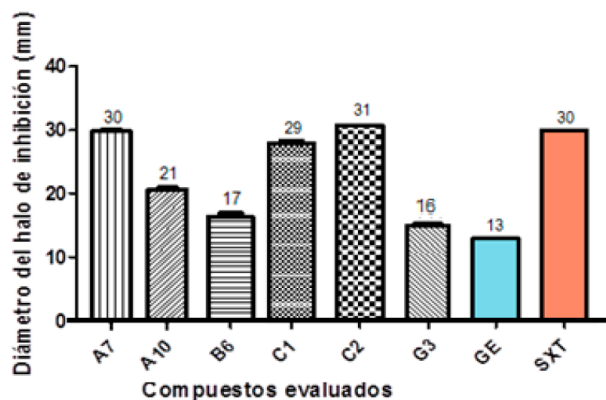
Al igual que el grupo D, los compuestos del grupo E, derivados del 5-etanolamino-1H-benzimidazol,

fueron escasamente efectivos contra E. coli, ya que sólo tres de los compuestos tuvieron efecto antimicrobiano y además son pequeños los halos obtenidos en su evaluación.

Los compuestos del grupo F, los cuales se generaron a partir del 5-fenilazo-1H-benzimidazol, fueron completamente solubles en DMSO, sin embargo ninguno presentó halo de inhibición, esto los hace irrelevantes como antimicrobianos contra E. coli e incluso otras bacterias.

El grupo G, el cual posee estructuras variadas, derivadas de hidrazidas, pirazol y piridazina, al ser evaluado demostró que todos los compuestos que lo conforman poseen actividad antimicrobiana, sin embargo su efectividad es baja, ya que los halos producidos son muy pequeños, siendo el mayor de 16 mm.

En la gráfica siguiente se muestra la comparación de los resultados de los compuestos orgánicos evaluados más sobresalientes frente a GE y SXT.



**Gráfica 1.** Comparación del efecto antibiótico causado por algunos compuestos, GE y SXT.

Los compuestos considerados en la gráfica cumplen con el criterio de generar halos mayores a 15 mm, el cual indica que E. coli fue sensible a ellos, tal como se consideró para antibiograma control positivo realizado con el sistema de Multidiscos® BIORAD.

Es apreciable que A7, C1 y C2 fueron los compuestos con mayor actividad antibacteriana contra E. coli, por lo que se consideró importante el análisis de sus estructuras para dar una propuesta a cerca de su mecanismo de acción. Los tres compuestos restantes pueden ser de utilidad en el tratamiento de enfermedades



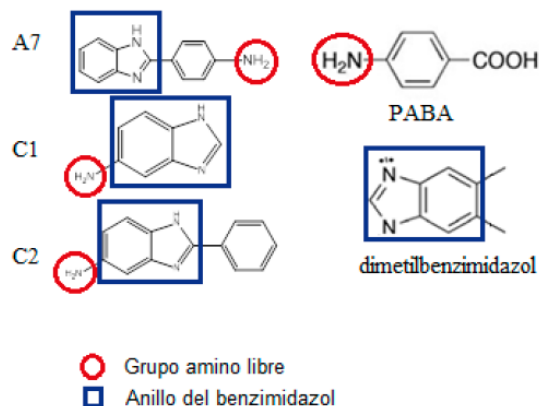
infecciosas generadas por otras bacterias menos resistentes que *E. coli*.

A7, C1 y C2 poseen como parte de su estructura sustituyentes amino o nitro en posición para en el anillo del benceno, lo cual genera que los electrones de sus anillos se encuentren en movimiento, esto a su vez facilita la interacción con otros sustituyentes [11]. El grupo nitro genera un fuerte efecto atrayente de electrones, por lo tanto los deslocaliza; mientras que el grupo amino, gracias al nitrógeno que posee, contribuye afinidad a las enzimas sobre las que actúa y además tiene capacidad de reaccionar con grupos carbonilo [12]. Al observar las estructuras de los tres compuestos mencionados, se encuentran comparables a la estructura del ácido para-aminobenzoico (PABA), ya que poseen un benceno que tiene como sustituyente a un grupo amino, libre de impedimento estérico, lo que sugiere que pueden tener participación en la interrupción de la biosíntesis del ácido fólico.

Por otro lado, siendo estos compuestos derivados de benzimidazoles, si se toma en cuenta que se encuentra al anillo del benzimidazol formando parte de la vitamina B12 (específicamente como dimetilbenzimidazol) [13], se sospecha que podrían ser análogos de dicha estructura e inhibir también, en alguna parte, la biosíntesis de la vitamina B12.

La similitud con PABA y dimetilbenzimidazol que forma parte de la estructura de la vitamina B12, son características que poseen en conjunto sólo A7, C1 y C2, por lo que se propone que poseen los dos mecanismos de acción anteriormente descritos, lo que explica su alta efectividad. El resto de los compuestos, a pesar de ser en su mayoría derivados de benzimidazoles, no cumplen con ambas características, lo que se refleja en su baja efectividad.

La comparación estructural de lo anteriormente descrito es apreciable en el siguiente esquema.



**Figura 2.** Comparación de las estructuras de C1, C2 y C7, con PABA y dimetilbenzimidazol.

## CONCLUSIONES

*Escherichia coli* al ser Gram negativa es estructuralmente más resistente a un mayor número de antimicrobianos, aunado a esto existen cepas patógenas multirresistentes a los antibióticos de uso clínico, por lo que aumenta la necesidad de buscar moléculas capaces de producir efectos inhibitorios sobre estas bacterias.

Los compuestos evaluados en el presente estudio fueron en su mayoría derivados de benzimidazoles, de los cuáles se determinó que los más efectivos fueron el A7, C1 y C2, con halos de inhibición de 30, 29 y 31 mm respectivamente, y se sospecha que su mecanismo de acción puede estar relacionado con la inhibición de la biosíntesis de vitamina B12 y ácido fólico gracias a la estructura que poseen; le siguen los compuestos B6 y A10, con 17 y 21 mm de halo respectivamente, los cuales probablemente sólo inhiban la biosíntesis del ácido fólico.

Uno de los problemas que se presentaron durante la experimentación fue la capacidad de solubilización que presentó cada compuesto, ya que a la concentración trabajada algunos no pudieron solubilizarse en DMSO, por lo que fueron descartados durante la experimentación; se sugiere en un próximo estudio evaluar la efectividad antibacteriana a concentraciones menores y variadas.

Cabe mencionar que la experimentación permitió determinar que, en efecto, existen otras moléculas que pueden ser utilizadas como antibióticos ante *Escherichia coli* ATCC 8739, sin embargo, aún

deben ser probadas con cepas clínicas de *E. coli*, puesto que estas últimas poseen características muy variadas y mecanismos de resistencia en constante desarrollo que pueden dificultar o no un tratamiento antibiótico con las moléculas mencionadas.

## AGRADECIMIENTOS

Investigación realizada gracias a los siguientes programas: Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IN218515; Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IT200915; Programa Interno de Apoyo para Proyectos de Investigación (PIAPI) de la UNAM 1632.

## REFERENCIAS

- [1] Ccencho, K., (2017). Presencia de coliformes, *E. coli* y *Staphylococcus aureus* en huevo cocido de codorniz (*Coturnix coturnix*) y la relación con las condiciones sanitaria de puestos de venta ambulancia de los mercados del distrito de Santa Anita. Tesis de pregrado, Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Perú.
- [2] Romero, R., (2007). Microbiología y parasitología humana. México: Médica Panamericana.
- [3] Águila, A., Bernedo, R., Llop, A., Ramírez, M., Bravo, L., Fernandez, A. y Ledo, Y. (2007). Estudio de marcadores fenotípicos y de susceptibilidad antimicrobiana en cepas de *Escherichia coli* entéricas. *Revista cubana de Medicina Tropical*, 59(2), 102-107. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0375-07602007000200005&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602007000200005&lng=es&tlng=es)
- [4] Lopardo, H., Predari, S. y Vay, C. (2016). Manual de microbiología clínica de la Asociación Argentina de Microbiología: enterobacterias. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología.
- [5] Calvo, J. y Martínez, L. (2009). Mecanismos de acción de los antimicrobianos. *Revista de Enfermedades Infecciosas en Microbiología Clínica*, 27, 44-52. doi: 10.1016/j.eimc.2008.11.001
- [6] Leen, C. (1986). Benzimidazole fungicides: Mechanism of action and Biological impact. *Phytopathol*, 24, 43-65.
- [7] Barthelemy, C., Cornago, P. y Esteban, S. (2015) *Química heterocíclica*. España: UNED
- [8] ALFA AESAR (2018). Hydrazide. Massachusetts: Thermo Fisher Scientific. Recuperado de <https://www.alfa.com/es/hydrazide/>
- [9] Kerns, E., (2008). Drug-like properties. Concepts, structure, designs and methods: from ADME to toxicity optimization. USA: Elsevier
- [10] Gaspar, M., (2011). Efectividad de un protocolo de tratamiento tópico con dimetilsulfóxido al 50% en el síndrome de dolor regional complejo tipo 1. *Farmacia Hospitalaria*, 36(5), 385-391.
- [11] Botello, A., (2005). Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias (2º ed.) México: Universidad Autónoma de Campeche.
- [12] Korolkovas, A. y Burckhalter, J., (1983). Compendio esencial de química farmacéutica. España: Reverté.
- [13] Márquez, A. (2008) Actividad antihelmíntica de derivados del benzimidazol sobre *Hymenolepis nana* y *Toxocara canis*. Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional.

## PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COMPLEJOS DE INCLUSIÓN OFLOXACINO- $\beta$ -CICLODEXTRINAS

Alejandro Ortiz Santiago<sup>1</sup>, Flora Adriana Ganem Rondero\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

[alepos305@gmail.com](mailto:alepos305@gmail.com), [ganemq@hotmail.com](mailto:ganemq@hotmail.com)

### RESUMEN

Se prepararon complejos de inclusión ofloxacino/hidroxiopropil-beta-ciclodextrina (Of/HP- $\beta$ -CD) y ofloxacino/beta-ciclodextrina (Of/ $\beta$ -CD) utilizando los métodos de amasado y co-precipitación. En ambos casos, se encontró una estequiometría de complejación de 1:1 y valores de constantes de formación de 332.2 M<sup>-1</sup> para HP- $\beta$ -CD y de 1039.9 M<sup>-1</sup> para  $\beta$ -CD. Los complejos se caracterizaron por medio de pruebas de solubilidad, espectrofotometría UV/vis, calorimetría diferencial de barrido, espectroscopía de infrarrojo y microscopía electrónica de barrido. Las eficiencias de complejación fueron de 83.2 % para amasado con HP- $\beta$ -CD, 86.0 % para amasado con  $\beta$ -CD, 66.4 % para co-precipitación con HP- $\beta$ -CD y 94.6 % para co-precipitación con  $\beta$ -CD.

**PALABRAS CLAVE:** Complejos de inclusión,  $\beta$ -ciclodextrinas, ofloxacino, solubilidad, caracterización

### ANTECEDENTES

Las ciclodextrinas son excipientes útiles que han atraído la atención de diversos grupos de investigación, y por ende, la formulación de muchos productos farmacéuticos se ha generalizado a partir de estas moléculas. La base para esta popularidad desde un punto de vista farmacéutico es la capacidad de estos materiales para interactuar con fármacos poco solubles y como resultado de esta interacción se produce un aumento en su solubilidad acuosa.

El mecanismo de la solubilización se basa en la capacidad de las ciclodextrinas para formar complejos de inclusión. El aumento de la solubilidad también puede incrementar la velocidad de disolución y por lo tanto mejorar la biodisponibilidad de fármacos de la clase II y IV del Sistema de Clasificación Biofarmacéutica (SCB) [1]. Por otro lado, productos a base de ciclodextrinas han llegado al mercado como consecuencia de su capacidad para enmascarar propiedades físico-químicas indeseables o incrementar la estabilidad de los activos [2], además de que han sido reconocidas como exci-

pientes no tóxicos y farmacológicamente inactivos [3], tanto para fármacos como para productos alimenticios [4] y cosméticos [5].

El ofloxacino es un fármaco fluorado de amplio espectro perteneciente al grupo de las quinolonas, utilizadas generalmente como antimicrobianos, con gran actividad contra la mayoría de las especies de bacterias gram-negativas, muchas de las gram-positivas y algunas anaerobias. Perteneció al grupo II del SCB, es decir, es poco soluble pero muy permeable.

### OBJETIVO(S)

Preparar los complejos de inclusión ofloxacino/ $\beta$ -ciclodextrinas utilizando los métodos de amasado y co-precipitación y posteriormente llevar a cabo su caracterización para poder evidenciar su formación estableciendo las diferencias asociadas al tipo de método y tipo de ciclodextrina empleados en su obtención.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se construyeron los diagramas de solubilidad de fase (DSF) ofloxacino/ $\beta$ -ciclodextrinas de acuerdo a la metodología propuesta por Higuchi y Connors [6]. Se prepararon soluciones de HP- $\beta$ -CD (Ashland Chemical de México) de concentración 0.0, 2.8, 9.0, 27.1, 56.4 y 112.8 mg/mL y soluciones de  $\beta$ -CD (Ashland Chemical de México) de concentración 0.0, 0.5, 0.9, 2.7, 5.7 y 11.4 mg/mL. Por separado, se colocaron 10 ml de solución de ciclodextrina en pequeños frascos viales y se les adicionó ofloxacino (Helm de México) en exceso. Se mantuvieron en agitación constante por 48 h. Cada uno de los sistemas se preparó por triplicado. Las soluciones se centrifugaron durante 10 min (Hettich EBA 12, Alemania) y se determinó la cantidad máxima de ofloxacino disuelto en cada sistema por espectrofotometría UV/Vis (Hitachi U-5100, Japón). Las constantes de formación se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{\text{pendiente}}{So (1 - \text{pendiente})}$$

Donde  $So$  es la solubilidad intrínseca del fármaco y la pendiente es la obtenida por medio de la regresión lineal aplicada a cada sistema (ver figura 1). Se prepararon los complejos de inclusión por el método de amasado de la siguiente manera: en un mortero de tamaño adecuado se colocaron HP- $\beta$ -CD y ofloxacino en proporción 3.9:1, en el caso de  $\beta$ -CD la proporción fue 3.1:1, y se adicionaron 200  $\mu$ L de una mezcla metanol (Reactivos Química Meyer):agua (J.T. Baker) 20:80. El contenido se amasó con el pistilo durante 5 minutos para después mantenerse en reposo hasta la completa evaporación del disolvente.

En el caso del método de co-precipitación, se prepararon por separado soluciones de 2 mg/mL de HP- $\beta$ -CD y de 1.6 mg/mL de  $\beta$ -CD (solución A). Por otro lado, se preparó una solución de 0.33 mg/mL de ofloxacino (solución B). Para ambas soluciones (A y B) se utilizó la misma mezcla metanol:agua (20:80) como medio de disolución. Se mezcló la solución A y la solución B en proporción 1:1.5 y se mantuvo en agitación constante por 48 h. Una vez transcurrido el tiempo, se eliminó la totalidad del disolvente. Los

complejos obtenidos por ambos métodos se mantuvieron en desecador hasta el momento de su análisis. Se tomaron muestras de cada uno de los complejos obtenidos y se caracterizaron por medio de espectrofotometría UV/vis (Hitachi U-5100, Japón), calorimetría diferencial de barrido (TA Instruments Q20, Estados Unidos), espectroscopía de infrarrojo (Thermo Scientific NICOLET iS10, Estados Unidos) y microscopía electrónica de barrido (JEOL JMS-25sll, Japón).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La construcción de los diagramas de solubilidad de fase es una de las técnicas más empleadas en la determinación de la estequiometría de la formación de los complejos de inclusión con ciclodextrinas y se obtiene de los resultados de solubilidad de la molécula huésped en función del incremento de la concentración de la ciclodextrina. De acuerdo con el modelo propuesto por Higuchi y Connors [6], los diagramas pueden ser de tipo A en donde la solubilidad de la molécula huésped aumenta a medida que aumenta la concentración de la ciclodextrina indicando la formación de complejos solubles, o de tipo B, cuando el complejo es insoluble y la concentración de la molécula huésped disminuye conforme aumenta la concentración de la ciclodextrina, estos comportamientos se detallan en la figura 1.

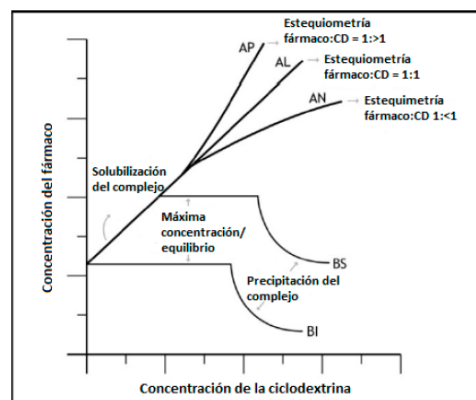
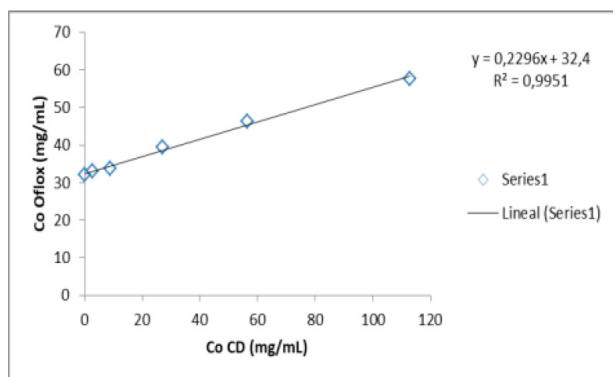


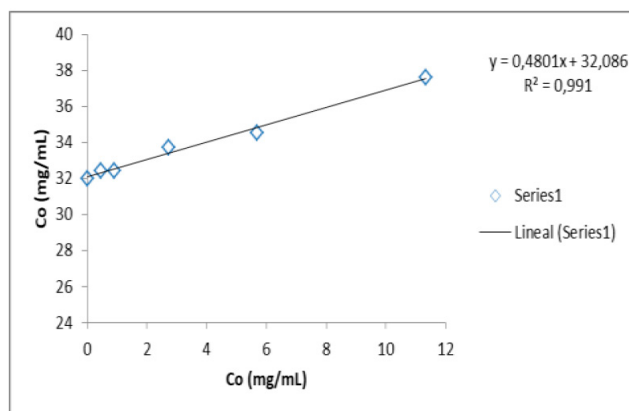
Figura 1. Diferentes tipos de diagramas de solubilidad de fase obtenidos de la complejación con ciclodextrinas

Como se observa en las figuras 2 y 3, los diagramas obtenidos son del tipo AL por lo tanto la relación entre la solubilidad del fármaco es proporcional a la concentración de las ciclodextrinas lo que indica que la complejación se da en relación estequiométrica 1:1.

En los gráficos también se incluye la ecuación del análisis de regresión lineal para cada uno de los sistemas con su respectivo coeficiente de determinación, que es una buena aproximación para asumir la linealidad de la curva.



**Figura 2.** Diagrama de solubilidad de fase ofloxacino/HP-β-CD



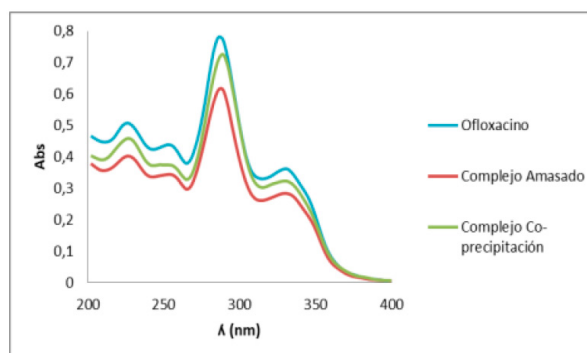
**Figura 3.** Diagrama de solubilidad de fase ofloxacino/β-CD

Otro dato importante que es posible obtener por medio de la construcción de los diagramas de solubilidad de fase es el relacionado al cálculo de la constante de formación ( $K_c$ ) asociada a la interacción entre el fármaco con cada una de las ciclodextrinas así como la eficiencia "teórica" de complejación [1]. Los resultados se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Constantes de formación y eficiencias de complejación obtenidos de los DSF

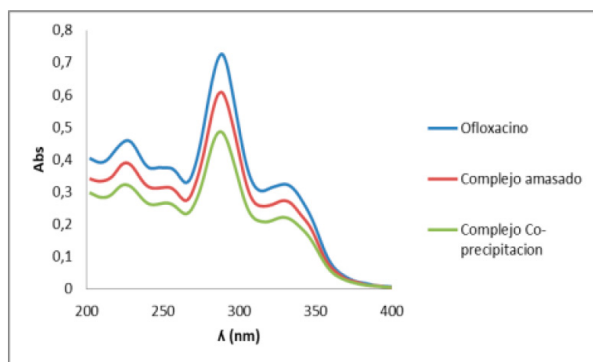
$K_c$		$E_c$	
HP-β-CD	β-CD	HP-β-CD	β-CD
332.2 M <sup>-1</sup>	1039.9 M <sup>-1</sup>	29.8 %	92.3 %

La espectrofotometría UV-vis es un método simple, económico, rápido y ampliamente usado en el estudio de la formación de los complejos de inclusión en solución fármaco-ciclodextrinas [7]. Dependiendo de la posición del grupo cromóforo en el fármaco, el paso de un medio acuoso a la cavidad interna no polar de la ciclodextrina puede modificar su espectro de absorción original, a causa del reemplazo total o parcial de la capa de solvatación de la molécula huésped por el interior de la ciclodextrina lo que genera nuevas interacciones con el entorno [8]. Los efectos batocrómico e hipsocrómico en el espectro de absorción de la molécula huésped, y/o un incremento o decremento en la intensidad del mismo pueden ser observados como consecuencia de la formación del complejo de inclusión [9].



**Figura 4.** Espectros de absorción del ofloxacino y sus complejos formados con β-CD

En el caso del espectro del complejo preparado por el método de co-precipitación y utilizando β-CD mostrado en la figura 4, es posible observar la presencia del efecto hipsocrómico ya que la longitud de onda de máxima absorción del Ofloxacino disminuyó de 289 nm a 286 nm. Para los demás complejos, se mantuvo la longitud de onda del fármaco libre, esto se observa en la figura 5.



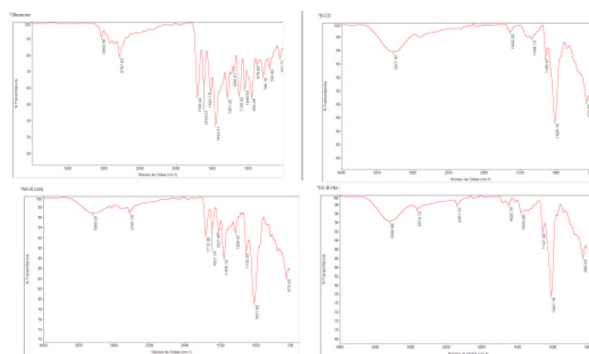
**Figura 5.** Espectros de absorción del ofloxacino y sus complejos formados con HP-β-CD

En la tabla 2 se muestran los resultados de la cantidad de fármaco incluido en los complejos obtenidos mediante pruebas de solubilidad.

**Tabla 2.** Cantidad promedio de ofloxacino en los complejos de inclusión

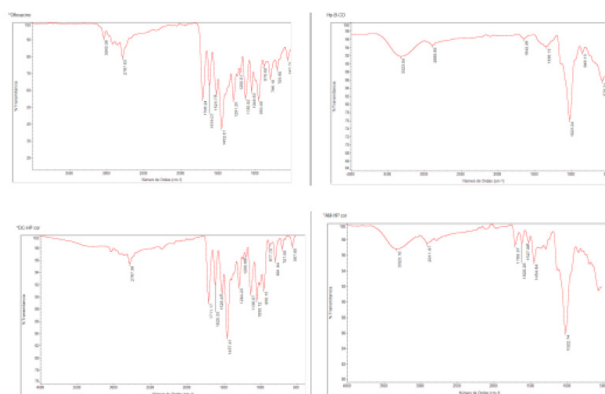
Amasado		Co-precipitación	
Co (µg/mL)			
HP-β-CD	β-CD	HP-β-CD	β-CD
8,3 ± 0.1	8,6 ± 0.1	6,6 ± 0.1	9,5 ± 0.1
83,2 %	86,0 %	66,4 %	94,6 %

La espectroscopía infrarroja se basa en el hecho de que las moléculas tienen frecuencias a las cuales rotan y vibran, es decir, los movimientos de rotación y vibración moleculares tienen niveles de energía discretos (modos normales vibracionales). Dentro de la región del I.R. fundamental existen dos regiones, una de ellas es la llamada de los grupos funcionales de 4000cm<sup>-1</sup> a 1300 cm<sup>-1</sup>, y la región dactilar de 1300 cm<sup>-1</sup> a 400 cm<sup>-1</sup>. En la región de los grupos funcionales la posición de la banda de absorción es mayor o menor dependiendo solamente del grupo funcional donde llega la absorción y no de la estructura molecular completa. La posición de las bandas en la región dactilar es dependiente de la estructura molecular completa.



**Figura 6.** A; Ofloxacino. B; β-CD. C; complejo amasado. D; complejo co-precipitación

En la figura 6 se muestran los espectros IR tanto de los complejos formados con β-CD así como de los componentes individuales y en la figura 7 los correspondientes a los complejos formados con HP-β-CD y sus respectivos componentes individuales.

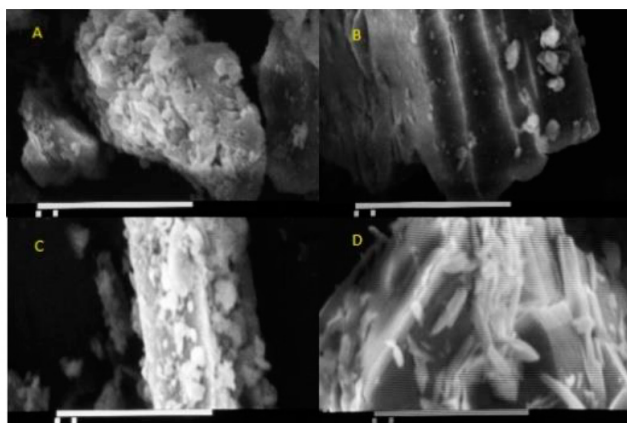


**Figura 7.** A; Ofloxacino. B; HP-β-CD. C; complejo amasado. D; complejo co-precipitación

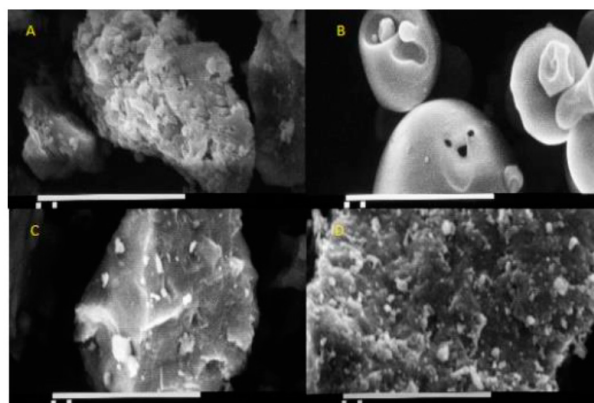
Prácticamente los espectros de los complejos obtenidos por ambos métodos muestran características y bandas presentes en los espectros individuales de cada compuesto, algunos más atenuados que otros. Lo anterior se explica porque aunque se haya formado el complejo, la complejación no se da en un 100% de eficiencia quedando parte del fármaco sin complejar, recordando además que se trata de complejos dinámicos [1]. Por ejemplo, prácticamente en todos los espectros de los complejos de inclusión aparece la señal asociada a los grupos OH de las ciclodextrinas (3200-3400 cm<sup>-1</sup>), las bandas asociadas a los dobles

enlaces carbono-carbono en el anillo aromático de la estructura del fármaco (aprox. 1450, 1500, 1580 y 1600  $\text{cm}^{-1}$ ) y la banda asociada al grupo éter cíclico en la estructura de las ciclodextrinas (1070-1150  $\text{cm}^{-1}$ ). Un punto a resaltar es el hecho de que los espectros de los complejos de inclusión son diferentes a los obtenidos para las especies químicas individuales por lo que se pone en evidencia la formación del complejo, además de observarse diferencias en cuanto al porcentaje de transmitancia a la que aparecen las bandas características de los componentes individuales con respecto de las mismas bandas observadas en los espectros de los complejos de inclusión. Por ejemplo, existen diferencias en la banda que se observa aproximadamente a los 1452  $\text{cm}^{-1}$  en el espectro del fármaco ya que en los espectros de los complejos aparece con un porcentaje de transmitancia mayor a un número de onda muy similar. Lo mismo sucede, aunque en menor medida, en las bandas que aparecen aproximadamente a los 3300  $\text{cm}^{-1}$  en los espectros de las ciclodextrinas puras además de ligeros desplazamientos en el número de onda, en comparación con las mismas bandas en los espectros de los complejos de inclusión.

La microscopía electrónica de barrido es una de las técnicas más versátiles disponibles para el examen y análisis de la microestructura morfológica y la caracterización del estado sólido.



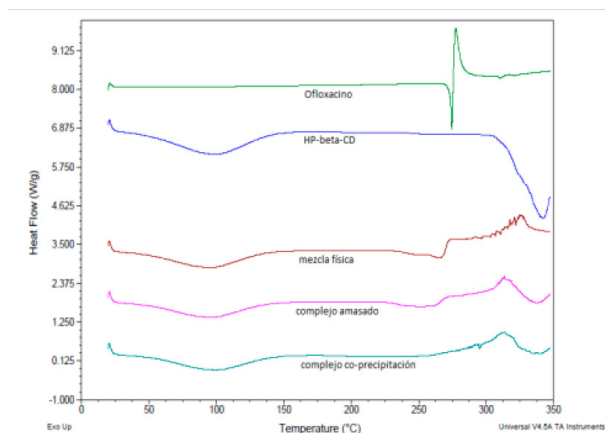
**Figura 8.** A; Ofloxacino. B;  $\beta$ -CD. C; complejo amasado. D; complejo co-precipitación



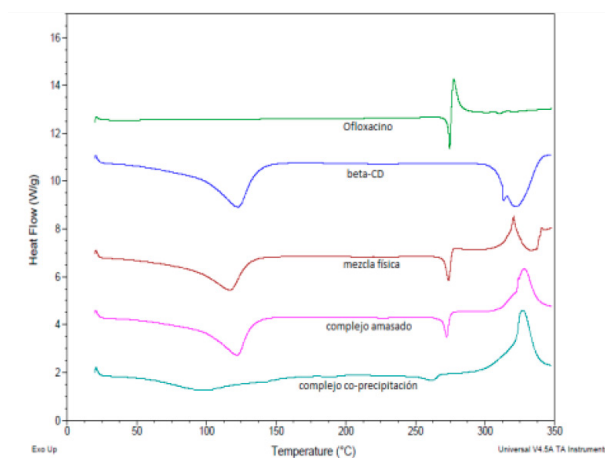
**Figura 9.** A; Ofloxacino. B; HP- $\beta$ -CD. C; complejo amasado. D; complejo co-precipitación

En las figuras 8 y 9 se muestran las micrografías de los complejos formados con  $\beta$ -CD y los complejos formados con HP- $\beta$ -CD respectivamente. Todas las imágenes corresponden a los 4500 aumentos. Prácticamente en ninguna de las imágenes de los complejos de inclusión formados por ambos métodos, es posible observar la morfología ni de las ciclodextrinas ni la del fármaco existiendo también diferencias en cuanto al tamaño y la forma con lo cual se pone en evidencia la formación de los complejos.

La calorimetría diferencial de barrido es el método térmico más utilizado en la investigación de las interacciones en estado sólido entre fármacos y ciclodextrinas debido a la capacidad de proporcionar información detallada acerca de las propiedades físicas y energéticas asociadas a los complejos [9]. La comparación de los termogramas de los componentes individuales, de la mezcla física y de los complejos de inclusión puede proporcionar una idea de las modificaciones e interacciones del estado sólido como consecuencia de la aplicación de los métodos de preparación y de la formación de los complejos.



**Figura 10.** Termogramas relacionados a los complejos formados con HP- $\beta$ -CD



**Figura 11.** Termogramas relacionados a los complejos formados con  $\beta$ -CD

Los termogramas de las ciclodextrinas se caracterizan por presentar un pico endotérmico alrededor de los 90-130 °C correspondiente a la deshidratación de la molécula seguido por la descomposición total que se presenta después de los 300 °C lo cual se puede observar en los termogramas de las figuras 10 y 11 asociados a las ciclodextrinas evaluadas de manera individual. Si la molécula huésped se presenta en su forma cristalina, se observará un pico también endotérmico de forma definida asociado al proceso de fusión de la misma. En el caso del ofloxacino, este pico se presenta, de manera experimental, a los 274.5 °C y presenta una estructura cristalina del tipo monoclinica [10].

Los termogramas correspondientes a la mezcla física deben ser la simple suma de los picos asociados a los componentes individuales apareciendo el pico correspondiente a la deshidratación de las ciclodextrinas así como el asociado al punto de fusión del fármaco. Cabe mencionar que la presencia residual del pico del punto de fusión del ofloxacino es indicativo de que la complejación no se da en un 100 % sino que parte del fármaco quedó sin complejar y por lo tanto aun aparece el pico de fusión aunque de un menor tamaño y de diferente forma [11]. En el caso de los complejos preparados por el método de co-precipitación es más evidente la desaparición del pico de fusión del ofloxacino lo que representa una mayor eficiencia en la formación del complejo de inclusión.

## CONCLUSIONES

La formación de los complejos de inclusión ofloxacino/ $\beta$ -ciclodextrinas ocurre en una proporción estequiométrica 1:1.

Los complejos obtenidos con  $\beta$ -ciclodextrina resultaron tener una constante de formación mayor en comparación con los complejos obtenidos con HP- $\beta$ -ciclodextrina lo que indica una mayor interacción con el fármaco.

Existen diferencias significativas en cuanto al porcentaje de fármaco incluido en los complejos por los diferentes métodos y tipos de ciclodextrinas, observándose que los complejos obtenidos por co-precipitación y utilizando  $\beta$ -ciclodextrina resultaron ser más eficientes en cuanto a la cantidad de fármaco incluido.



## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PAPIIT IN216016, PIAPI1641 y al CONACYT con el número de expediente 14984.

## REFERENCIAS

- [1] Brewster, M., Loftsson, T., (2007) Cyclodextrins as pharmaceutical solubilizers. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 59, 645-666.
- [2] Davis, M., Brewster, M., (2004) Cyclodextrin-based pharmaceuticals: past, present and future. *Nature Reviews, Drug Discovery*, 3, 1023-1035.
- [3] Stella, V., He, Q., (2008) Cyclodextrins. *Toxicologic Pathology*, 36, 30-42.
- [4] Kfoury, M., Auezova, L., Grige-Gerges, H., Fourmenti, S., (2015) Promising applications of cyclodextrins in food: Improvement of essential oils retention, controlled release and antiradical activity. *Carbohydrate Polymers*, 131, 264-272.
- [5] Chivunova, E.S., Kumeev, R.S., Tereknova, I.V., (2015) Thermodynamic study on salt effects on complex formation of  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\gamma$ -cyclodextrins with p-aminobenzoic acid. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 91, 30-34.
- [6] Higuchi, T., Connors, K.A., (1965) Promising applications of cyclodextrins in food: Improvement of essential oils retention, controlled release and antiradical activity. *Advanced Analytical Chemistry of Instrumentation*, 4, 117-212.
- [7] Song, W., Yu, X., Wang, S., Blasier, R., Markel, D.C., Mao, G., Shi, T., Ren, W., Cyclodextrin-erythromycin complexes as a drug delivery device for orthopedic application. *International Journal of Nanomedicine*, 6 (2011) 3173-3186.
- [8] Szejtli, J. (1988). *Cyclodextrin Technology*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- [9] Mura, P., (2014) Analytical techniques for characterization of cyclodextrin complexes in aqueous solution: a review. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 101, 238-250.
- [10] Holstein, J., Bertram, C., Dittrich, B., (2012) Electrostatic properties of nine fluoroquinolone antibiotics derived directly from their crystal structure refinements. *CrytEngComm*, 14, 2520.
- [11] Al-Marzouqi, A.H., Jobe, B., Dowaidar, A., Maestrelli, F., Mura, P., (2007) Enhancement of dissolution amount and in vivo bioavailability of itraconazole by complexation with  $\beta$ -cyclodextrin using supercritical carbon dioxide. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 43, 566-574.

## DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE UNA MATRIZ POLIMÉRICA TERMOSENSIBLE CONTENIENDO UN SISTEMA SUBMICRÓNICO CARGADO CON UNA MEZCLA DE FACTORES DE CRECIMIENTO DESTINADA AL TRATAMIENTO DE HERIDAS CRÓNICAS

Sergio Alberto Bernal Chávez<sup>1</sup>, Doris Atenea Cerecedo Mercado<sup>2</sup>, Adriana Ganem Rondero<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación y Posgrado en Tecnología Farmacéutica L322, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán C1, UNAM.

<sup>2</sup>Laboratorio de Hematobiología, Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Sección de Estudios de Posgrado, Instituto Politécnico Nacional

q901108@hotmail.com y ganemq@hotmail.com, dcerecedo@prodigy.net.mx

### RESUMEN

La prevalencia de gente con heridas crónicas ha incrementado dramáticamente por factores tales como el fumar, obesidad y enfermedades crónico-degenerativas que retardan el proceso de recuperación de las heridas[1]. Por tal situación el mejoramiento de los tratamientos de heridas crónicas se ha vuelto una necesidad[2]. El desarrollo de heridas es un evento complejo caracterizado por la presencia de células proinflamatorias que crean un microambiente proteolítico que degrada factores de crecimiento (FC) importantes en el proceso de cicatrización, esta disminución de FC prevé una estrategia interesante para el saneamiento de las heridas. Con esto en mente, en este trabajo se desarrolló un sistema inteligente, incluyendo un sistema nanométrico cargado con FC, esta matriz mostró propiedades tecnológicas que permitieron mejorar la estabilidad del nanosistema y facilitar su aplicación, además, la presencia de los FC permitirá un aumento en la proliferación y migración de células de importancia en la cicatrización de heridas crónicas.

**PALABRAS CLAVE:** Factores de crecimiento, nanotecnología, polímero inteligente, cicatrización, herida crónica.

### ANTECEDENTES

Una herida crónica se puede definir como aquella que ha fallado en el proceso de recuperación de manera ordenada y oportuna para producir una integridad anatómica y funcional dentro de un periodo de 3 meses o que ha procedido a través de un proceso de reparación sin establecer un resultado funcional, anatómico y sostenido[3]. Pacientes con heridas crónicas generalmente sufren de enfermedades tales como la diabetes y/u obesidad. En países desarrollados, se ha estimado que del 1 al 2% de la población experimentará una herida crónica durante su tiempo de vida. Solamente en Estados Unidos las heridas crónicas afectan a 6.5 millones

de pacientes con gastos anuales de 25 billones de dólares en su tratamiento, mientras que en países escandinavos, los costos asociados al cuidado de heridas representan del 2 al 4% del gasto total en cuidados de la salud[4]. Estos datos indican un incremento en los gastos en cuidado de la salud, principalmente debido al aumento de pacientes con obesidad y/o diabetes y a su vez esto conlleva a un alza en la venta de productos para el saneamiento de heridas.

A nivel Latinoamérica, hay pocos datos relacionados con pie diabético y/o amputaciones; en México, entre 2004 y 2005, los egresos hospitalarios por pie diabético aumentaron en un 10 % y el número de amputaciones se incrementó a 4 %. Aproximadamente del 40 al

85 % de las amputaciones de extremidades inferiores se realiza en sujetos con DM, de estas, el 85 % está precedida por una ulceración del pie. El incremento en el número de amputaciones del año 2004 al año 2013 puede explicarse porque a nivel nacional, la DM ha tenido un incremento en su prevalencia de 7.5 % en el año 2000 a 9.2 % reportada en el año 2012 por las Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición [13].

Una herida se caracteriza por varias etapas, la primera de hemostasia y posteriormente una inflamatoria donde su principal objetivo es la eliminación de patógenos y material foráneo. Esta etapa se describe por la presencia de varias células inflamatorias, quimiocinas, citocinas (CK), moléculas de matriz, factores de crecimiento (FC) y nutrientes en el sitio. El rol de las citocinas es esencial ya que estas permiten que los monocitos se diferencien a macrófagos, células maestras en el saneamiento de heridas. Los factores de crecimiento son proteínas que han recibido una atención significativa en el campo del saneamiento de heridas, incluso se ha observado que aquellos factores de crecimiento derivado de plaquetas mejoran de manera considerable el sitio dañado[5], misma situación se ha observado con las terapias a base del factor de crecimiento transformante beta[6]. Sin embargo, en una herida crónica existen tantas perturbaciones en los niveles de FC y CK principalmente por la degradación que sufren por efecto de las proteasas, y si aunado a esto se consideran los factores como la obesidad y diabetes, en donde los niveles disminuyen a un más, el saneamiento de heridas se retrasará por mayor tiempo, dada la importancia que tienen estas sustancias en la proliferación y migración celular. Además del costo que conlleva el cuidado de las heridas, las terapias actuales están lejos de garantizar el adecuado saneamiento, por lo que la recurrencia es común. Por otro lado, muchos de los sistemas requieren de administraciones frecuentes y altas dosis para lograr el efecto deseado, con la posibilidad de que se presenten efectos indeseables si se alcanzan concentraciones sistémicas elevadas[1].

El producto derivado de plaquetas, conocido como lisado plaquetario (LP) o también llamado plasma rico en plaquetas (PRP), es un hemoderivado que contiene un conjunto de factores que promueven el crecimiento y se ha establecido como un suplemento seguro y eficiente en cultivos de células del estroma mesenquimal[7].

Las VU también conocidas como Transfersomas® ofrecen un sistema versátil para la administración de principios activos. Estos sistemas pueden mejorar la estabilidad, así como potenciar el uso de gran cantidad de fármacos. Son sistemas metaestables conformados por un fosfolípido y un modificador de superficie como el Tween® 80. La presencia del modificador de superficie otorga a la membrana de la vesícula la particularidad de ser ultraflexible, y así, las vesículas son altamente deformables, pudiendo atravesar poros del estrato corneo de la piel menores a un décimo de su propio diámetro cuando se aplican bajo condiciones no oclusivas[8].

Una matriz polimérica (MP) es un sistema acuoso a base de un polímero y en algunos casos a base de polímeros inteligentes, entendiéndose como inteligente a la capacidad de un polímero de modificar sus propiedades basales cuando ocurre un cambio de pH, temperatura, fuerza iónica, etc. Esta propiedad la poseen solo algunos polímeros de uso farmacéutico y uno de ellos es el Pluronic®-F127, un tensoactivo no iónico hidrofílico. Su propiedad como polímero inteligente radica en su capacidad para responder a cambios de temperatura: a bajas temperaturas, de aproximadamente 4°C, se encuentra en un estado fluido, no obstante, conforme la temperatura se incrementa, las cadenas poliméricas comienzan a perder movilidad hasta convertirse en un gel termoreversible. A esta matriz la denominamos matriz polimérica termosensible (MPT). La MPT tiene la ventaja de que puede ser fácilmente administrada en su forma fluida, como un spray sobre toda la superficie afectada, gelificando al entrar en contacto con el medio biológico, lo que promueve su permanencia y el contacto íntimo con la herida.

## OBJETIVO

Desarrollar, caracterizar y evaluar una matriz polimérica termosensible a base de un sistema nanométrico ultraflexible para la liberación controlada de factores de crecimiento destinados a promover el saneamiento de heridas.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

La figura 1 muestra la secuencia metodológica general seguida durante el desarrollo del proyecto de investigación propuesto, indicando pasos generales.

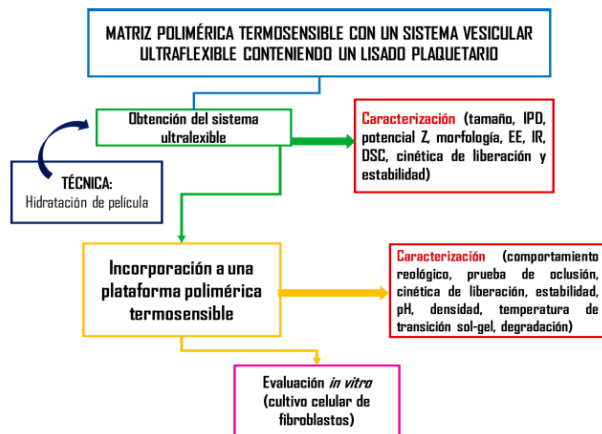


Figura 1. Esquema general de la metodología seguida durante el proyecto de investigación.

Es importante mencionar que el objetivo de este proyecto es mostrar el desarrollo y evaluación de la matriz polimérica termosensible (MPT) considerando que en trabajos anteriores ya se ha caracterizado el sistema submicrónico (VU).

### DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE LA MPT (MÉTODO EN FRÍO)

La MPT a base de Pluronic® F-127 al 20% fue obtenida por adición gradual a 4°C del polímero en polvo a solución acuosa bajo agitación magnética hasta completa hidratación del polvo (figura 2).

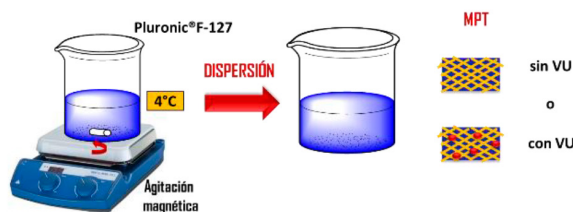


Figura 2. Procedimiento ilustrativo de la preparación de la MPT por la técnica del método en frío[9].

Las MPT que contenían VU con y sin LP fueron preparados de la misma forma que las MPT base (aquella que solo representa el polímero hidratado, sin VU y sin LP), en este caso el medio acuoso que se utilizó fue la suspensión previamente obtenida de las VU.

Con la MPT desarrollada se procedió a su caracterización para lo cual se utilizaron las técnicas y metodologías que aparecen en la tabla 1.

Tabla 1. Técnicas utilizadas en la caracterización de la MPT.

CARACTERÍSTICA	TÉCNICA
pH	Potenciometría
Degradación	Pérdida de peso
Tiempo de no fluidez	Inversión del tubo
Pérdida de movimiento Browniano	Dispersión de luz dinámica.
Comportamiento en el infrarrojo	Espectroscopia de infrarrojo (IR) por transformada de Fourier/ Reflectancia total atenuada.
Estabilidad	Refrigeración
Cinética de liberación	Difusión
Estabilidad fisicoquímica del LP	Dicroísmo circular
Desnaturalización del LP dentro de la MPT por efecto de la temperatura	Dicroísmo circular
Efecto oclusivo	Pérdida de agua transepidermal a través de piel de cerdo
Punto de micelización	Calorimetría diferencial de barrido (DSC)
Comportamiento reológico	Estudio de viscosidad
Temperatura de transición sol-gel	Pérdida de movilidad del agitador

Las técnicas que se muestran en la tabla 1 se realizaron a los 3 sistemas obtenidos (MPT base, MPT+VU sin LP y MPT+VU con LP). Cada una de las pruebas se realizó por triplicado. Los estudios donde se involucra el efecto de la temperatura se realizaron a 33.5°C (temperatura promedio en una herida).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer punto para la evaluación de la MPT fue determinar el tiempo que le tomará gelificar, una vez en contacto con la herida. Como se observa en la figura 3 el tiempo de transición sol-gel se presenta después de los 5 minutos, aunque desde los 2 minutos se aprecia un cambio en la fluidez. Estos resultados fueron para un volumen de 500 µl de MPT en todos los casos, por lo que, si a este volumen le toma poco más de 5 minutos gelificar, se esperaría que para las capas delgadas

que serán depositadas en una herida, el tiempo de no fluidez será mucho menor. Con esto se puede pensar que la MPT tiene propiedades tecnológicas adecuadas para poder ser administrada en una herida.

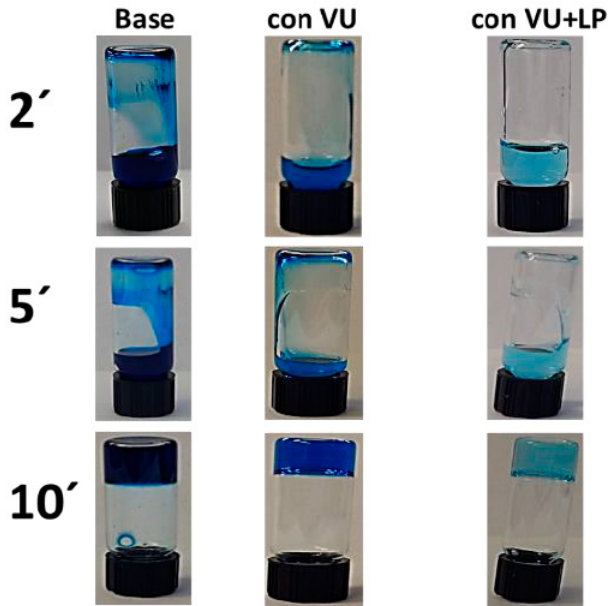


Figura 3. Tiempo de no fluidez de la MPT.

Por medio de espectroscopia de IR se corroboró que la MPT mantiene la estructura del polímero utilizado (Pluronic®-F127), es decir, que no presenta cambios significativos en su cadena polimérica al estar en forma de matriz. Con esto se afirma que efectivamente el polímero no presenta cambios drásticos en su constitución al aparecer una de sus bandas más representativa (figura 4), aproximadamente a  $1095\text{ cm}^{-1}$  (gráfico azul) indicativa del enlace C-O. En todos los casos analizados (MPT base, MPT+VU y MPT+VU+LP), las demás bandas del polímero se ven opacadas por la presencia del agua (gráfico rojo) ya que como se recordará las MPT son sistemas hidratados, por lo que la cantidad de agua es más alta comparada con la cantidad de polímero. Aunque a aproximadamente  $2887\text{ cm}^{-1}$  se logra ver una pequeña deformación en los espectros de los diferentes sistemas, indicando la influencia de esa señal presente en el polímero.

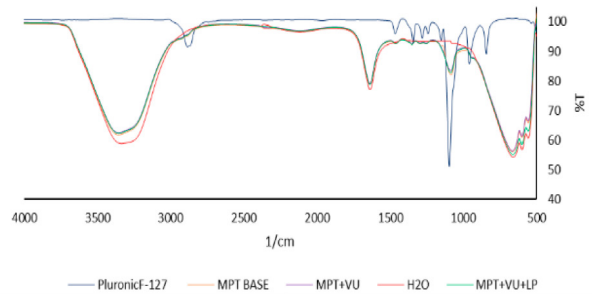


Figura 4. Espectro de IR de la MPT para los diferentes sistemas.

Otro aspecto que considerar en la caracterización de la MPT es su comportamiento reológico, porque como ya se ha mencionado al ser un sistema termosensible su grado de fluidez se va perdiendo y con ello se observa un aumento en su viscosidad.

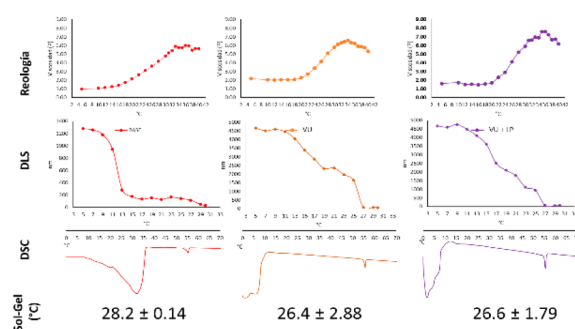


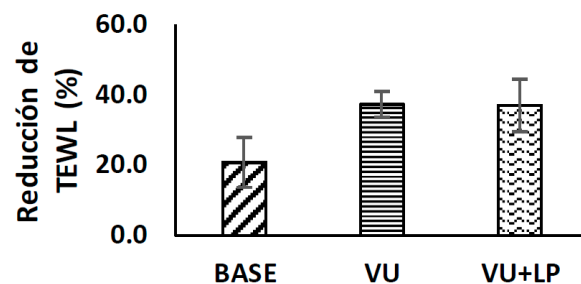
Figura 5. Efecto de la temperatura sobre la MPT mediante varios estudios para los tres sistemas (base, VU y VU+LPT; todos en su estado de MPT e identificados por color). DSC: calorimetría diferencial de barrido, DLS: dispersión de luz dinámica, Sol-Gel: temperatura de transición de estado fluido a estado gel, reología: estudio de las propiedades de flujo de líquidos o gases.

La figura 5 muestra cuatro parámetros evaluados a la MPT, en la primera fila se muestran los gráficos de viscosidad con respecto a la temperatura y como se puede apreciar para los tres casos (MPT base: indicado como base en el gráfico, MPT+VU: indicado como VU y MPT+VU+LP: indicado como VU+LP) la viscosidad incrementa conforme la temperatura se eleva, teniendo su valor más alto de viscosidad por arriba de los  $32^{\circ}\text{C}$ , temperatura ideal cuando hablamos de una herida, ya que se ha mencionado constantemente que la temperatura promedio de una herida ronda alrededor de los  $33.5^{\circ}\text{C}$ , por lo

que se apoya la idea que al momento de su administración la MPT se encontrará completamente gelificada. Este mismo fenómeno se observó cuando se hace el estudio de la pérdida de movimiento Browniano (figura 5, segunda fila) de la MPT, en la cual por arriba de los 25 °C se presenta una caída a tamaños muy cercanos a cero, indicativo de la pérdida de movimiento y por ende a la pérdida de fluidez de la matriz. Este fenómeno se justifica por el principio de medición que utiliza la metodología empleada (dispersión de luz dinámica) donde el tamaño es proporcional al movimiento browniano, por lo que, si éste último se pierde, ocurre lo mismo con el valor de tamaño. La temperatura de transición sol-gel (figura 5, cuarta fila), confirma lo obtenido mediante dispersión de luz dinámica, donde por arriba de 25°C se pierde el movimiento. En este caso la temperatura representa el punto donde un agitador magnético se detiene por completo debido al aumento de la viscosidad, hasta el punto donde la MPT no fluye más. Por último, los gráficos de DSC (figura 5, tercera fila) representan los termogramas de la MPT, este gráfico permite identificar el punto donde las MPT sufren un cambio de un estado de cadenas poliméricas "libre" a un estado micelar, entendiéndose por micelar el punto donde las cadenas de polímero se agregan para formar una estructura esférica llamada micela que provoca que la MPT presente una estructura más rígida. En los gráficos se observa que para el caso de la MPT base, el inicio de la micelización comienza aproximadamente a los 10 °C, en los sistemas que ya contienen VU, este punto se recorre a valores por debajo de los 10 °C, se ha reportado que la presencia de una estructura como las VU dentro de una MPT modifica su punto de micelización a un valor menor que el valor basal [10]. La señal que aparece a los 55 °C aproximadamente, para todos los sistemas, representa un evento térmico característico del polímero.

La medida de pérdida de agua transepidermal es un método bien establecido en dermatología para evaluar la integridad de la barrera de la piel in vivo o in vitro. Cuando la piel se encuentra alterada, su función de barrera se ve modificada dando como resultado un aumento en la pérdida de agua, esta situación se presenta ya sea por un estado patológico o por una perturbación experimental, tera-

peútica o cosmética [11, 12]. Esta técnica nos permite evaluar el efecto oclusivo de nuestra MPT. Se ha reportado que la presencia de un sistema terapéutico en una herida como un gel, un apósito, una película, etc, debe generar un efecto semioclusivo esto es, que la pérdida de agua transepidermal no se inhiba por completo (totalmente oclusivo) sino que permita que una cantidad de agua sea eliminada mientras que otra se mantiene en la herida (semioclusivo). El tener un estado totalmente oclusivo fomentaría el crecimiento bacteriano e incluso propiciaría una mayor actividad proteolítica que degradaría los FC endógenos. Sin embargo, tampoco es ideal tener un sistema que no provea cierto grado de oclusividad en la herida, ya que una de las formas de recuperación "natural" de una herida es la actividad autocatalítica que degrada el tejido muerto, y ésta se presenta con cierto nivel de humedad en la zona dañada; entonces, si no hay un nivel de humedad, el saneamiento de la herida sería más lento, por ello la importancia de desarrollar sistemas *semioclusivos*.

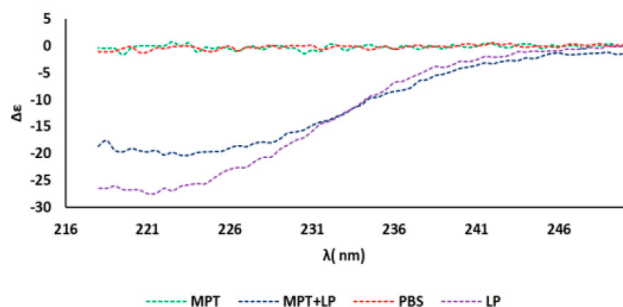


**Figura 6.** Reducción en el valor de pérdida de agua transepidermal por efecto de la MPT con y sin VU. TEWL: Pérdida de agua transepidermal, por sus siglas en inglés.

Este estudio se llevó a cabo utilizando piel de oreja de cerdo. En la figura 6 se puede ver que la presencia de la MPT base (sin VU) genera una reducción en la pérdida de agua de alrededor del 20% con respecto al valor inicial (piel sin MPT). Cuando se coloca la MPT que contiene VU sin LP (segunda barra) y con LP (tercera barra) la reducción se incrementa aún más, con una diferencia significativa con respecto a la MPT base, hasta un 37% para los dos casos. Esto se justifica por el hecho de que la presencia de las VU cubrirá más el área dañada, evitando que el agua se escape a través de la piel. En el caso de la MPT base, que no contiene VU, la reducción sólo se debe al efecto que el polímero

ejerce sobre el valor basal, en el caso de las MPT con VU la reducción representa el efecto del polímero y de las VU. En los tres casos la reducción está por debajo del 50 % con respecto al valor inicial, por lo que se puede decir que la MPT ejerce un efecto semioclusivo sobre la piel, lo que se suma a las ventajas antes mencionadas para este tipo de sistema.

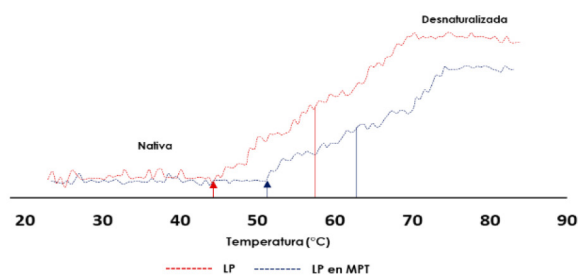
Así como se ha demostrado por dicroísmo circular que el LP mantiene su estructura dentro de la VU, de igual manera se evaluó este efecto en la MPT, considerando que el LP estará en contacto con ella una vez que difunde de la VU a la MPT para posteriormente difundir a la herida. La figura 7 muestra los espectros de la MPT con y sin LP comparada con el del LP en solución, para los cuales la misma situación positiva fue observada, notando solo una pequeña separación de los espectros por efecto de la concentración del LP, a pesar de esto la estructura sigue manteniéndose y conservando su similitud con respecto al LP en solución.



**Figura 7.** Espectros obtenidos por dicroísmo circular del LP y la MPT con (MPT+LP) y sin LP (MPT).

De igual manera para corroborar que el LP en solución mantienen su comportamiento de desdoblamiento por efecto de la temperatura cuando ha difundido de la VU a la MPT y con ello apoyar la idea que cuando el LP este en contacto a la temperatura de la herida la proteína estará en su estado nativo, se evaluó por dicroísmo circular a 222 nm la desnaturalización proteica. La figura 9 muestra la curva de desnaturalización del LP en solución comparada con la del LP en la MPT. Como se puede apreciar el LP en la MPT muestra un comportamiento muy similar al LP en solución, incluso se puede observar como en la MPT el LP comienza su estado de transición de nativo a desnaturalizado a aproximadamente 8°C después (flecha azul) comparada con la temperatura a la cual el LP en solución lo

hace (flecha roja), incluso se determina que el 50% de desnaturalizado con respecto a la concentración inicial, para el LP en la MPT se obtiene a los 62 °C (línea en azul) ligeramente mayor al LP en solución (57°C, línea roja) lo que habla de la protección que la MPT le proporciona al LP con respecto al factor temperatura.



**Figura 8.** Curvas de desnaturalización del LP en solución y en la MPT.

Finalmente, es indispensable corroborar que el LP, que se encuentra contenido en las VU y que estas a su vez están dentro de una MPT, difunda a través de la matriz para poder alcanzar el sitio blanco en la herida y con ello ejercer su actividad biológica. Para ello, se estudió la difusión del LP a través de la MPT. En la figura 9 se muestran los resultados obtenidos.

Como se puede ver, el LP difunde de una manera constante y controlada a través del tiempo, lo que permite inferir que las ventajas que un sistema de liberación controlada posee, también se presentarán en la MPT. La diferencia que se encontrará únicamente es en cuanto al tiempo que le tomará llegar a la herida, pues es menor (aunque no de manera significativa), debido a que ahora el LP tendrá que atravesar dos barreras para llegar a su blanco: la bicapa fosfolipídica de la VU y posteriormente la estructura matricial de la MPT.

MPT.

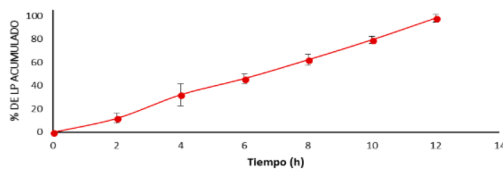


Figura 9. Cinética de difusión del LP a través de la MPT.

## CONCLUSIONES

Se preparó un sistema inteligente termoreversible, conteniendo vesículas ultraflexibles cargadas con un lisado plaquetario, destinado al tratamiento de heridas crónicas. La inclusión de las vesículas en la matriz termoreversible presenta múltiples ventajas como las que se enumeran a continuación: (i) Fácil administración, al poder ser aplicado en forma de un spray, que al contacto con el sitio blanco forma una película protectora sobre la herida. (ii) Los estudios de liberación muestran perfiles donde la cantidad liberada en función del tiempo es constante y se prolonga durante aproximadamente 12 h, lo que garantiza la liberación gradual del lisado durante este tiempo, evitando el contacto del total de la dosis de lisado administrada con el medio biológico, que potencialmente puede afectarlo. (iii) Proporciona un efecto semioclusivo, formando una barrera protectora que mantiene cierto grado de humedad, pero que permite un adecuado intercambio gaseoso.

Se espera que este sistema ofrezca ventajas con relación a los sistemas convencionales, contribuyendo de esta forma al saneamiento y recuperación de las heridas crónicas que cada vez afectan a un mayor número de personas en todo el mundo y que en muchos casos no sólo condicionan sus actividades, sino que los llevan a situaciones sumamente graves, como la amputación de extremidades e incluso a comprometer su vida.

## AGRADECIMIENTOS

CONACYT (292701), PAPIIT (IN216016), PIAP1641 Posgrado en Ciencias Químicas de la UNAM.

## REFERENCIAS

- [1] Chandika, P., Ko, S.C., Jung, W.K., (2015) Marine-derived biological macromolecule-based biomaterials for wound healing and skin tissue regeneration. *International journal of biological macromolecules*, 77, 24-35
- [2] Gainza, G., Villullas, S., Pedraz, J.L., Hernandez, R.M., Igartua, (2015) M. *Advances in drug delivery systems (DDSs) to release growth factors for wound healing and skin regeneration. Nanomedicine : nanotechnology, biology, and medicine*, 11(6):1551-1573.
- [3] Jarbrink, K., Ni, G., Sonnergren, H., Schmidtchen, A., Pang, C, Bajpai, R., Car, J., (2016) Prevalence and incidence of chronic wounds and related complications: a protocol for a systematic review. *Syst Rev*, 5(1):152.
- [4] Sen, C. K., Gordillo, G.M., Roy, S., Kirsner, R., Lambert, L., Hunt, T.K., Gottrup, F., Gurtner, G.C., Longaker, M.T.(2009) Human skin wounds: a major and snowballing threat to public health and the economy. *Wound Repair Regen*, 17(6):763-771.
- [5] Smiell JM, Wieman TJ, Steed DL, Perry BH, Sampson AR, Schwab BH: Efficacy and safety of becaplermin (recombinant human platelet-derived growth factor-BB) in patients with nonhealing, lower extremity diabetic ulcers: a combined analysis of four randomized studies. *Wound Repair Regen* 1999, 7(5):335-346.
- [6] Wu, L., Xia, Y.P., Roth, S.I., Gruski, E., Mustoe, T.A. (1999) Transforming growth factor-beta1 fails to stimulate wound healing and impairs its signal transduction in an aged ischemic ulcer model: importance of oxygen and age. *Am J Pathol* 154(1):301-309.
- [7] Fekete, N., Gadelorge, M., Furst, D., Maurer, C., Dausend, J., Fleury-Cappellesso, S., Mailander, V., Lotfi, R., Ignatius, A., Sensebe, L. et al., (2012) Platelet lysate from whole blood-derived pooled platelet concentrates and apheresis-derived platelet concentrates for the isolation and expansion of human bone marrow mesenchymal stromal cells: production process, content and identification of active components. *Cytotherapy*, 14(5):540-554.
- [8] Gupta, A., Aggarwal, G., Singla, S., Arora, R., (2012) Transfersomes: a novel vesicular carrier for enhanced transdermal delivery of sertraline: development, characterization, and performance evaluation. *Sci Pharm*, 80(4):1061-1080.
- [9] Soga, O., van Nostrum, C.F., Fens, M., Rijcken, C.J., Schiffelers, R.M., Storm, G., Hennink, W.E., (2005) Thermosensitive and biodegradable polymeric micelles for paclitaxel delivery. *J Control Release*, 103(2):341-353.



- [10] Nie, S., Hsiao, W.L., Pan, W., Yang, Z., (2011) Thermoreversible Pluronic F127-based hydrogel containing liposomes for the controlled delivery of paclitaxel: in vitro drug release, cell cytotoxicity, and uptake studies. *Int J Nanomedicine*, 6:151-166.
- [11] Netzlaff, F., Kostka, K.H., Lehr, C.M., Schaefer, U.F., (2006) TEWL measurements as a routine method for evaluating the integrity of epidermis sheets in static Franz type diffusion cells in vitro. Limitations shown by transport data testing. *European journal of pharmaceuticals and biopharmaceutics : official journal of Arbeitsgemeinschaft fur Pharmazeutische Verfahrenstechnik eV* 63(1):44-50.
- [12] du Plessis, J., Stefaniak, A., Eloff, F., John, S., Agner, T., Chou, T.C., Nixon, R., Steiner, M., Franken, A., Kudla, I., et al., (2013) International guidelines for the in vivo assessment of skin properties in non-clinical settings: Part 2. transepidermal water loss and skin hydration. *Skin research and technology : official journal of International Society for Bioengineering and the Skin*, 19(3):265-27
- [13] Nelly, C., et al., (2016) Índice de amputaciones de extremidades inferiores en pacientes con diabetes. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.*;54(4):472-9.

## DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE UNA PREPARACIÓN SEMISÓLIDA EN FORMA DE GEL CARGADA DE CAFEÍNA PARA USO ANTIINFLAMATORIO.

Fernando Juarez Lazcano<sup>1</sup>, Gabriela Hernández Vázquez<sup>1</sup>, José Juan Escobar Chávez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

[ferwxdp@gmail.com](mailto:ferwxdp@gmail.com), [gabs.hdzvazquez15@gmail.com](mailto:gabs.hdzvazquez15@gmail.com), [josejuanescoibar@gmail.com](mailto:josejuanescoibar@gmail.com)

### RESUMEN

La inflamación es un síntoma corporal en el cual los tejidos son afectados presentando síntomas como rubor, calor, hinchazón, enrojecimiento, dolor. Se trata de una respuesta del sistema inmunitario para proteger el organismo de infección y lesiones. Su finalidad es localizar y eliminar el tejido dañado. La cafeína es una sustancia extensamente consumida, en lo que respecta al tratamiento del dolor la cafeína parece indicarnos la eficacia antiinflamatoria, para ello se desarrolló y caracterizó fisicoquímicamente un gel cargado de cafeína de uso tópico, con la finalidad de crear un medicamento innovador para el tratamiento inflamatorio. Obteniendo resultados con propiedades deseables en la formulación de un gel, como extensibilidad, viscosidad, pruebas organolépticas (color, olor, homogeneidad, evanescencia). Así mismo se determinó el contenido químico del gel de cafeína, la evaluación de este parámetro se asegura que el gel contiene la dosis usada en la formulación que garantiza el efecto terapéutico.

**PALABRAS CLAVE:** Inflamación, Cafeína, antiinflamatorio, gel, tópico, caracterización, contenido químico.

### ANTECEDENTES

La inflamación es un síntoma corporal en el cual los tejidos son afectados presentando síntomas como rubor, calor, hinchazón, enrojecimiento, dolor. La inflamación es la respuesta esencial y normal cuando el cuerpo se le presenta un estímulo de daño y esto puede variar de una reacción localizada de un tejido afectado o estar vinculada a una reacción en todo el organismo, mientras la inflamación es una respuesta normal, la inflamación crónica es el resultado de la destrucción de tejido conectivo normal debido a enzimas citocinas y catalíticas [1].

Los efectos antiinflamatorios de la cafeína se deben a la inhibición competitiva no selectiva de las fosfo-

diesterasas (PDEs). La inhibición de las PDE aumenta la concentración intracelular de AMP cíclico (cAMP), activa la proteína quinasa A e inhibe la síntesis de leucotrienos, lo que conduce a una inflamación reducida e inmunidad innata. [2]

Actualmente en el mercado se encuentra un gran número de preparados farmacéuticos para la administración oral, sin embargo las formas farmacéuticas por vía oral presentan severos efectos secundarios, que se manifiestan en trastornos a nivel estomacal. Situación que se pretende eliminar al utilizar formas farmacéuticas semisólidas tópicas, por lo que la finalidad del presente estudio consiste en la formulación de un gel de cafeína de aplicación tópica.

## OBJETIVO

Desarrollar, formular y caracterizar fisicoquímicamente un gel cargado con cafeína a través de un diseño de experimentos para la optimización de la formulación con la finalidad de crear un medicamento innovador para el tratamiento de procesos inflamatorios.

## METODOLOGÍA.

Optimización de la formulación a través de un diseño factorial multinivel con el programa Statgraphics. Con ayuda del programa Statgraphics se buscó la formulación óptima, esto mediante un diseño de mezclas multifactorial. Donde se ingresaron el número de variables a medir y estudiar que fueron 3: pH, viscosidad y extensibilidad. Así también se eligió trabajar con tres niveles de concentración de Cafeína y ácido hialurónico. De acuerdo al análisis del programa nos arrojó un total de 27 formulaciones a desarrollar.

Preparación de las formulaciones.

1. En un vaso de precipitados previamente limpio y seco pesar aproximadamente bien conocidos la cantidad de gramos de cada componente conforme al número de la formulación que se obtuvo del programa Statgraphics.
2. Se coloca el vaso de agua previamente pesado con una barra magnética sobre un agitador magnético.
3. Se adicionan en pequeñas cantidades el ácido hialurónico para poder hidratarlo.
4. Una vez que se haya hidratado completamente el ácido hialurónico se incorpora la cafeína poco a poco.
5. Una vez que quede transparente la mezcla se resguarda etiqueta para posterior medir sus propiedades fisicoquímicas.
6. Repetir los pasos del 1- 5 para las demás formulaciones.

### Medición de las propiedades fisicoquímicas del gel cargado con cafeína.

El pH, se colocó una cantidad suficiente de la muestra en un vaso de precipitados limpio para que cubriera la parte inferior del electrodo del potenciómetro, se tomó la lectura y se lavó el electrodo con abundante agua desionizada, se realizó esta determinación para las formulaciones.

Viscosidad. Para esta prueba se utilizó un viscosímetro marca Brookfield (Modelo DV-E) con las agujas S-62 y

S-64 para las formulaciones menos viscosas a las más viscosas respectivamente.

Se vierte una cantidad suficiente del gel en una probeta de tal manera que la superficie del gel pueda cubrir la muesca que tiene la aguja del viscosímetro. Se espera un minuto en cada medición y se registra la viscosidad en cP.

Extensibilidad. Se pesa sobre un acetato aproximadamente bien conocidos 0.5 gramos del gel a medir la propiedad en una balanza analítica.

Se coloca el acetato sobre una hoja milimétrica y con la ayuda de un vernier se toma el diámetro de la gota del gel y se registra.

Con otro acetato limpio se acomoda sobre la gota y se coloca una pesa de 150 gramos, en este momento se deja pasar un minuto exacto para retirar la pesa.

Se mide el diámetro de la gota del gel que ahora está extendido.

Se calcula la extensibilidad antes de aplicar el peso y después mediante la fórmula:

$$E = \pi r^2$$

Donde E= extensibilidad,  $\pi = \pi$  (3.1416),  $r^2 =$  radio promedio de la mediciones al cuadrado.

Curva de calibración de cafeína. Se preparó una curva de calibración de cafeína con el fin de poder cuantificar el fármaco en el gel desarrollado. Para esto se trabajó con concentraciones en un intervalo de 5-25 microgramos/mL. Se preparó una solución stock disolviendo 25 mg de Cafeína en 5 mL de etanol, se llevó a la marca de aforo en un matraz de 100 mL con agua desionizada. Para preparar los cinco sistemas que componen la curva de calibración se tomó 1 mL de la solución stock y se llevó a la marca de aforo de 50 mL, este paso se repitió en las alícuotas siguientes: 2, 3, 4 y 5 mL. Se lee en el espectrofotómetro velab a 271 nm. Se graficó la concentración contra absorbancia.

Caracterización del gel de cafeína. Una vez obtenido las cantidades a trabajar de Cafeína y ácido hialurónico se lleva a cabo el proceso de manufactura de acuerdo al punto de la metodología "preparación de formulaciones".

Las pruebas para caracterizar este gel son las siguientes: pH, viscosidad, extensibilidad con pesas de 100 g, densidad relativa y contenido químico. Estas pruebas se realizan de acuerdo a lo descrito en los puntos anteriores.

Para calcular la gravedad específica se pesa un picnómetro metálico vacío, posteriormente el mismo picnómetro con agua y por último el picnómetro con la muestra de gel.

La prueba de contenido químico se realizó preparando un lote de 10 gramos del gel cargado con cafeína. Se toma 1 gramo de este y se disuelve en 30 mL de agua desionizada se lleva a un aforo de 250 mL, se homogeniza bien la preparación. Posteriormente se toma una alícuota de 6 mL y se lleva a un aforo de 25 mL. Esta solución es leída por espectrofotómetro a una longitud de onda de 271 nm. Viscosidad. Se realizó con un viscosímetro marca Brookfield modelo DV-E con la aguja No. 62 a temperatura ambiente (25 C) se colocó la muestra de gel y se introdujo la aguja, manteniendo de esta manera la muestra se registró la viscosidad cada minuto aumentando la velocidad de cizalla que va de 1-100 rpm, al alcanzar 100 rpm se volvió a medir pero ahora de forma descendente. Se graficaron los resultados como: viscosidad vs velocidad de cizalla.

**RESULTADOS**

Optimización de la formulación a través de un diseño factorial multinivel con el programa Statgraphics Todos las variables medidas fueron integradas al programa Stagraphics y nos arrojó la formulación óptima la cual se caracterizó dando como resultado lo siguiente:

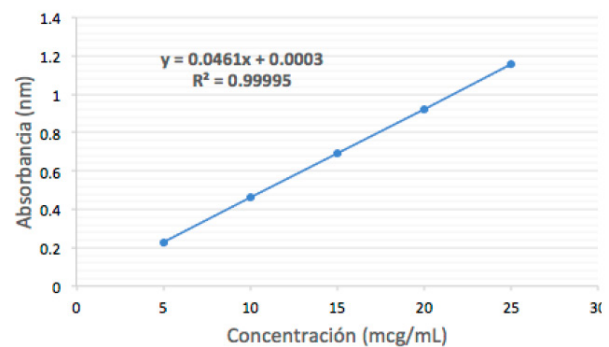
**Tabla 1.** Cantidades óptimas de los factores principales de la formulación.

Factor	Optimo
Cafeína	884.468 mg
Ácido hialurónico	455.014 mg

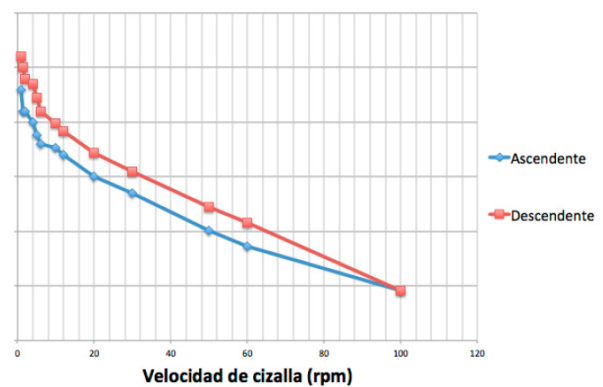
**Figura 2.** Relación entre la viscosidad y la velocidad de cizalla del gel de ácido hialurónico cargado con cafeína de forma ascendente y descendente

**Tabla 2.** Caracterización del gel cargado con Cafeína

Prueba	Resultado
pH	7.52
Extensibilidad antes	3.5610 cm <sup>3</sup>
Extensibilidad después (100 g)	49.0457 cm <sup>3</sup>
Contenido químico (promedio de cantidad recuperada)	99.52%
Viscosidad	430 cP
Densidad relativa	1.0058
Propiedades organolépticas	Gel transparente, sin olor y de textura agradable.



**Figura 1.** Curva de calibración de cafeína



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al programa utilizado Statgraphics se realizó la formulación óptima, el mismo proceso de fabricación, misma formulación y condiciones de almacenamiento.

Se estudiaron las características organolépticas, se evaluó la apariencia física en cuanto textura (homogénea o no homogénea), consistencia (fluida, semi-viscosa o viscosa), olor, color, mediante la utilización de órganos sensoriales. Obteniendo un gel con propiedades agradables a la piel.

El pH se determinó con un potenciómetro marca Science MED Modelo: SM-3BW, el pH común para la piel recomendado oscila entre 4.5- 6.0, el pH promedio obtenido de la formulación fue de 7.52, es importante tener presente que la mayoría de las preparaciones de aplicación tópica, el pH es ligeramente neutro o débilmente ácido, de este modo se garantiza que no se produzca irritación y daño a la piel.

La extensibilidad se puede definir como el incremento de la superficie que experimenta una cierta cantidad de gel cuando se le somete a la acción de pesas crecientes en intervalos fijos de tiempo (durante 60 segundos), se realizó como lo indica la metodología (página 2), anotando el radio del círculo formado, con los radios promedios obtenidos se calculan las superficies de acuerdo a la ecuación de extensibilidad  $AE=\pi r^2$ , la extensibilidad se calcula antes y después que se aplique la pesa. Al comienzo de esta prueba el área de la extensibilidad (antes) es de 3.5610 cm<sup>2</sup>, sin embargo a medida que se incrementa el peso sobre la muestra, se distingue una mayor área de extensibilidad (después) de 49.0457cm<sup>2</sup>, esto puede predecir que el gel tendrá una buena aplicación sobre la piel.

La viscosidad es una de las pruebas utilizada para el estudio de la reología, una ciencia que describe el flujo de fluidos y la deformación de los sólidos, mientras mayor sea la viscosidad mayor será la resistencia y en base a todo esto los fluidos se puede clasificar en dos grandes grupos: Newtonianos y No Newtonianos [3].

La prueba se llevó a cabo con un viscosímetro Brookfield modelo DV-E con la aguja No. 62 a temperatura constante 25°C, teniendo como parámetro un minuto de medición, los resultados se observan en la figura 2, donde se aprecia que la viscosidad al ascender la velocidad de cizalla disminuye y al disminuir la velocidad de cizalla vuelve a subir la viscosidad. Esto nos indica que es un fluido tipo no Newtoniano pues la

viscosidad no permanece constante conforme la velocidad de cizalla.

El contenido químico se calculó con ayuda de la curva de calibración preparada (figura 1). El promedio del porcentaje de recobro de las 10 muestras fue del 99.52% por lo que se asegura que en la formulación preparada contiene de una forma homogénea el contenido de cafeína en el gel.

Densidad relativa puede ayudar a conocer si un sistema se puede mantener sin cambios en sus propiedades físicas (pH, estabilidad a corto plazo) durante su almacenamiento [4], en este caso, la determinación se realizó por triplicado a temperatura ambiente obteniendo un resultado promedio de 1.0058.

## CONCLUSIONES

Se llevó a cabo la optimización de la formulación para el gel de ácido hialurónico cargado con cafeína mediante la optimización de formulación mediante el uso de un diseño factorial multinivel.

Se caracterizó el gel de ácido hialurónico cargado con cafeína mediante pruebas fisicoquímicas como son: pH=7.52, contenido químico = 99.52%, viscosidad = 3750 cP, densidad relativa = 1.0058 y extensibilidad antes de 3.5610cm<sup>2</sup>, extensibilidad después de 49.0457cm<sup>2</sup>, tipo de fluido no Newtoniano.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al proyecto PAPIIT IT 200218

## REFERENCIAS

- [1] Weder, E.,(2002),¿ Copper complexes of non-steroidal anti- inflammatory drugs, an opportunity yet to be realized. Coordination chemistry Reviews, Elsevier, vol 232,
- [2] National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database; CID=2519, Recuperado de: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2519>
- [3] Escalona-Rayó, C., (2016) Formulación y optimización de un parche bucal mucoadhesivo para la entrega unidireccional de tartato de metropolol , Tesis de licenciatur, Universidad Nacional Autónoma de México, recuperado de: <http://oreon.dgbiblio.unam.mx/>
- [4] Aulton, M.E., (2004) Farmacia: la ciencia del diseño de las formas farmacéuticas, Madrid, España, Elsevier

## OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE CLOTRIMAZOL Y ACETATO FTALATO DE CELULOSA CON POTENCIAL APLICACIÓN VAGINAL

María del Rocío Lara Sánchez, Elizabeth Piñón Segundo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Sistemas Farmacéuticos de Liberación Modificada (L-13), UIM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

[masanchez.lara@gmail.com](mailto:masanchez.lara@gmail.com), [epinons@comunidad.unam.mx](mailto:epinons@comunidad.unam.mx)

### RESUMEN

Las infecciones micóticas transmitidas sexualmente aumentan la susceptibilidad de las mujeres a adquirir una infección de virus de inmunodeficiencia humana (VIH) por la alteración de la integridad del epitelio vaginal. En esta investigación se propuso obtener nanopartículas (NPs) con un polímero microbicida (Acetato Ftalato de Celulosa – CAP) que incluye un antimicótico (Clotrimazol - CLT), el cual podría aumentar la eficacia del tratamiento de la vaginitis. Se obtuvieron NPs de CAP con CLT en tres niveles de carga de CLOT (LA: 50 mg; LB: 100 mg; LC: 150 mg) cuyas eficiencias de entrapamiento fueron de 89, 54 y 50 %, respectivamente. En pruebas de liberación in vitro, se observó una liberación rápida hasta las 5 hrs y posteriormente una velocidad de liberación casi constante por 80 hrs, con un mecanismo de liberación anómalo de acuerdo con la ecuación de Korsmeyer-Peppas ( $0.43 < n$ ).

**PALABRAS CLAVE:** Nanopartículas, acetato ftalato de celulosa, clotrimazol, microbicida, administración vaginal.

### ANTECEDENTES

Las infecciones micóticas transmitidas sexualmente aumentan la susceptibilidad de las mujeres a adquirir una infección de virus de inmunodeficiencia humana (VIH) por la alteración de la integridad del epitelio vaginal. La presencia de este tipo de enfermedades, sin el tratamiento adecuado, facilita la transmisión del VIH [1, 2, 3]. La FDA define a los microbicidas como productos farmacéuticos intravaginales que reducen el riesgo de adquirir VIH [4]. Los modelos matemáticos predicen que incluso un microbicida parcialmente efectivo puede prevenir millones de nuevas infecciones de VIH [5]. Dentro de los microbicidas de especificidad moderada, se ha encontrado que el Acetato Ftalato de Celulosa (CAP, por sus siglas en inglés), es eficiente en la pre-

vencción del contacto entre el virus y su célula blanco, es virucida contra el VIH y el virus del herpes. Los sistemas de liberación vaginal de fármacos disponibles actualmente muestran una serie de limitaciones tales como escurrimientos y un corto tiempo de residencia; estas características ocasionan inconformidad. La eficacia terapéutica de fármacos que actúan localmente es aumentada por el incremento de la biodisponibilidad en las membranas blanco; por este motivo, es necesario que el diseño de formas farmacéuticas vaginales se oriente al diseño de sistemas que optimicen el tiempo de retención en la vagina e indirectamente el tiempo de contacto con el recubrimiento epitelial de la membrana. En este proyecto se pretende aplicar las ventajas que ofrece la nanotecnología para generar un sistema farmacéutico novedoso que ayude a mitigar

problemas de salud pública de alto impacto social a nivel nacional y mundial como lo son la reincidencia de las infecciones vaginales. Considerando que, la alteración de la integridad del epitelio vaginal provocado por micosis vaginales recurrentes no tratadas adecuadamente aumenta la susceptibilidad de las mujeres frente a enfermedades de transmisión sexual, incluyendo el VIH, se diseñó un sistema nanoparticulado de liberación controlada de un principio activo antimicótico que aumente la eficacia del tratamiento de la vaginitis y que, al evitar las infecciones micóticas recurrentes, permita preservar saludable el epitelio vaginal. Al mismo tiempo, las propiedades microbicidas de dicho sistema terapéutico podrán reducir sustancialmente el riesgo de adquirir o transmitir infecciones causadas por virus.

#### Objetivo General

Obtener nanopartículas de acetato ftalato de celulosa que incluyan el agente antimicótico clotrimazol.

#### Objetivos Particulares

Obtener nanopartículas de CAP con CLT (CLT-CAP-NPs) a partir de los métodos de emulsificación-difusión modificado (MDF) y emulsificación-difusión tradicional (TRD).

#### Optimizar los métodos de preparación de NPs.

Caracterizar las NPs obtenidas de acuerdo con la eficiencia del proceso, tasa de encapsulación, morfología, tamaño, distribución del tamaño de partícula, grado de cristalinidad y porcentaje de estabilizante residual. Evaluar el perfil de liberación *in vitro* del CLT incluido en las NPs usando bolsas de diálisis.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Materiales

Clotrimazol (donación de Globe Chemicals S.A. de C.V., México), Acetato ftalato de celulosa P.M. 2534.12 A.C.S. (Sigma-Aldrich, USA), Metil etil cetona A.C.S. (Fermont, México), Polivinil alcohol, Mowiol® 4-88 (Glomarza, México), Ácido bórico A.C.S. (Sigma-Aldrich, USA), Yoduro de potasio A.C.S. (Sigma-Aldrich, USA), Yodo A.C.S. (Sigma-Aldrich, USA), Fosfato de potasio monobásico A.C.S. (Fermont, México), Alcohol metílico A.C.S. (Fermont, México), Alcohol etílico A.C.S. (Fermont, México), Tubos de Membrana de celulosa (6 a 8000 MWCO, anchura plana 32 mm, Ø 20.4 mm. Spectra/Por® Dialysis Membrane).

### Preparación NPs-CLT-CAP por MDF

Se pesaron 400 mg de CAP y la cantidad correspondiente de CLOT (LA-50 mg, LB-100 mg, LC-150 mg ó LD-200 mg), se disolvieron en 20 mL de Metil Etil Cetona (MEC) previamente saturada con agua destilada: soluciones A. Se preparó una solución de PVAL al 5% con agua destilada previamente saturada con MEC: Solución B. Se emulsificaron los 20 mL de la solución A con 40 mL de la solución B durante 10 minutos con un agitador mecánico con propela de turbina a 2200 rpm. Inmediatamente después la emulsión se pasó a un evaporador de presión reducida para eliminar el solvente. La suspensión de las partículas se sometió a tres ciclos de "lavado" por ultracentrifugación para eliminar el exceso de agente estabilizante (Ultracentrífuga Optima LE 80-K, Beckman, USA). Cada lote fue liofilizado en una liofilizadora de mesa (Labconco®, USA).

### Preparación NPs-CLT-CAP por TRD

Se pesaron 400 mg de CAP y la cantidad correspondiente de CLOT (LA1, LA2 y LA3 50mg; LB1, LB2 y LB3 100 mg; LC1, LC2 y LC3 150 mg), se disolvieron en 20 mL de MEC previamente saturada con agua destilada: soluciones A. Se preparó una solución de polivinil alcohol (PVAL) al 5% con agua destilada previamente saturada con MEC: solución B. Se emulsificaron los 20 mL de la solución A con 40 mL de la solución B durante 10 minutos con un agitador mecánico con propela de turbina a 2200 rpm, se adicionaron 120 mL de agua destilada y se continuó la agitación durante 10 minutos más. La emulsión se pasó a un evaporador de presión reducida para eliminar el solvente. La suspensión de las partículas se sometió a tres "lavados" por ultracentrifugación para eliminar el exceso de PVAL (Ultracentrífuga Optima LE 80-K, Beckman, USA). Cada lote se liofilizó en una liofilizadora de mesa (Labconco®, USA).

### Análisis de tamaño de partícula

Para todos los lotes se utilizó un Zetasizer Nano ZS90 (Malvern, UK) el cual emplea la técnica de dispersión de luz dinámica (DSL, por sus siglas en inglés). Cada suspensión se diluyó con agua destilada hasta que se alcanzó la concentración de partículas adecuada y se sonicó durante 10 minutos para evitar la agregación.

### Estudios de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Los análisis por DSC se llevaron a cabo con muestras liofilizadas de cada uno de los lotes de nanopartículas, así como de las muestras del polvo del principio activo (CLT) y del polímero (CAP). Las muestras se pesaron directamente en charolas de aluminio herméticas (3-5 mg) y se escanearon entre 0 y 300 °C a una velocidad de calentamiento de 10°C/min con flujo de nitrógeno de 50 mL/min, utilizando un DSC Q10 (TA Instruments, USA).

### Cuantificación del estabilizante residual

La cantidad de PVAL residual en las NPs-CLT-CAP obtenidas por ambas técnicas se determinó mediante un método espectrofotométrico que considera la formación de un complejo entre el PVAL en solución y yodo, en presencia de ácido bórico [6]. Aproximadamente 10 mg del liofilizado de nanopartículas se disolvieron con 10 mL de MEC con agitación magnética durante aproximadamente 3 horas, después se evaporó el solvente hasta sequedad. Posteriormente se agregaron 5 mL de agua destilada y se continuó la agitación magnética por 3 horas. A continuación la suspensión se filtró con una membrana Millipore® de 22 µm y el filtrado se ajustó a un volumen de 10 mL. De esa solución se tomó 1 mL y se ajustó a 5 mL con agua destilada (Solución A). A la solución A se agregan 2 mL de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 0.65M y 1 mL de I<sub>2</sub> 0.05 M en KI 0.15 M para formar el complejo colorido. El sistema se leyó a λ=640 nm en un espectrofotómetro (Genesys10S, UV-VIS Spectrophotometer). La absorbancia obtenida se interpoló en una curva de calibración (desde 18 hasta 70 µg/mL; r<sup>2</sup>=0.9993) para conocer la concentración.

### Estudios de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Para las NPs-CLT-CAP obtenidas por MDF y para los polvos de CLT y CAP se colocó directamente una pequeña muestra seca sobre un portaobjetos, se aplicó una capa de oro de ~20 nm de espesor (Fine Coat Ion Sputter JFC-1100, JEOL, Japan) y se observó la morfología de las NPs por MEB utilizando un microscopio electrónico de barrido JSM-25SII (JEOL, Japan). Para las NPs-CLT-CAP obtenidas por

TRD (LA1, LC1 y LCAP) se extendió una gota de una dispersión acuosa de las NPs sobre un portamuestras y se dejó secar a temperatura ambiente; para el lote LB1 se esparció una muestra de las NPs liofilizadas sobre el portamuestras. En ambos casos se aplicó un recubrimiento de oro de ~20 nm de espesor (Sputter Coater EMS 550, Electron Microscopy Sciences, USA) y se observó la morfología de las NPs por MEB utilizando un microscopio electrónico de barrido JSM-6060LV (JEOL, Japan).

**Carga de CLT (CargaCLT), eficiencia de atrapamiento (EE) y eficiencia del proceso (EP).** A las NPs obtenidas por MDF únicamente se les determinó EP. A las NPs obtenidas por TRD (LA1, LA2, LA3, LB1, LB2, LB3, LC1, LC2, LC3 y LCAP) se les realizaron todas las determinaciones. Para determinar la CargaCLT y la EE se pesaron ~10 mg del liofilizado de cada lote y se disolvieron en 10 mL de MEC, se evaporó por completo el solvente y el precipitado se resuspendió y agitó durante 72 horas en 15 mL de medio preparado como sigue: 60% de buffer de fosfatos (pH 4.5) y 40% de EtOH con 0.2% de Tween®20. Esta suspensión se filtró con una membrana Milipore® de 0.22 µm y el filtrado se ajustó a un volumen de 25 mL con el mismo medio. Las NPs sin principio activo (LCAP) se trataron de la misma forma y se utilizaron como blanco. La solución se leyó a λ=261 nm con un espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis (ThermoScientific, USA). La correlación con la concentración del CLOT se determinó con el coeficiente de absortividad determinado experimentalmente como  $\bar{\epsilon}_{CLOT} = 713.5543 \text{ M}^{-1}$ . La CargaCLT y la EE se calcularon de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2, respectivamente.

$$CargaCLT(\%) = \frac{\text{cantidad de Clot en NPs}}{\text{cantidad de NPs}} \times 100 \quad (1)$$

$$EE(\%) = \frac{CargaClot\%}{\% \text{ del contenido inicial de Clot} \times (1 - \text{fracción de PVAL residual})} \times 100 \quad (2)$$

Durante el proceso de manufactura cierta cantidad de PVAL se adsorbe en las NPs, debido a esto se introduce el factor de corrección 1/(1-fracción de PVAL residual) en la Ec. 2, para evitar una desestimación en la EE. El contenido inicial de CLT corresponde a la cantidad agregada a cada lote. Las determinaciones de CargaCLT se hicieron por triplicado, las EE se calcularon con los datos de CargaCLT y PVAL residual correspondientes para cada lote. La EP se calculó con la Ec. 3 después del secado por liofilización de las NPs.



$$EP(\%) = \frac{\text{peso de NPs recuperadas}}{\text{peso CLT} + \text{peso de CAP} - \text{peso de PVAL residual}} \times 100$$

El peso del CLT incluido en la Ec. 3 corresponde a el CLT cargado en las NPs y el peso de CAP es la cantidad de polímero utilizado en la preparación de las NPs. El peso de PVAL residual es el promedio de los ensayos de PVAL residual para cada lote.

#### Pruebas de liberación in vitro con tubos de diálisis

Las NPs obtenidas por TRD se sometieron a una prueba para evaluar la liberación del CLT desde las nanopartículas de CAP, se utilizó la técnica de bolsas de diálisis para contener a las NPs. Se pesaron 10 mg de NPs y se introdujeron en un tubo de diálisis (Tubos de Membrana de celulosa, 6 a 8000 MWCO, anchura plana 32 mm, Ø 20.4 mm. Spectra/Por® Dialysis Membrane) de 6 cm de largo, se agregaron 5 mL de medio (40% Etanol y 60% buffer de fosfatos pH 4.5, con 0.2% de Tween 20) y el tubo se cerró perfectamente por ambos extremos. La bolsa con la suspensión de NPs se introdujo en 30 mL del medio mencionado con agitación a 37°C y se tomaron alícuotas de 1 mL, con reposición de medio, a los siguientes tiempos: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600, 1440, 1620, 1800, 1980, 2880, 3120, 3360, 4320, 4560 y 4800 minutos. Las alícuotas se leyeron a 261 nm en un espectrofotómetro (Genesys10S, UV-VIS Spectrophotometer, ThermoScientific) utilizando el medio mencionado como blanco. Se obtuvo la cantidad de CLT liberado utilizando su coeficiente de absorptividad para el mismo medio. La prueba de liberación se realizó por triplicado para cada lote de NPs preparado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Preparación de NPs-CLT-CAP por MDF

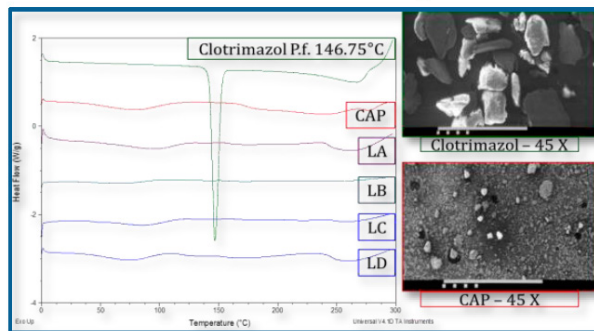
Una de las principales desventajas del TRD es la cantidad de agua libre que se debe agregar después de haber iniciado la emulsificación entre el agua saturada y la fase orgánica saturada, ya que dicho exceso de agua produce que la suspensión de NPs obtenida se deba concentrar con mayores tiempos de destilación. Por lo anterior, uno de los objetivos de este trabajo fue obtener nanopartículas mediante el MDF, es decir, omitir el paso de agregar agua libre a la emulsión y realizar directamente la evaporación del solvente después de la emulsificación.

Se prepararon cuatro lotes de nanopartículas de CAP (400 mg) con diferente carga de principio activo cada uno: 50, 100, 150 y 200 mg de CLT por MDF. De los cuatro lotes, sólo la EP de uno estuvo por debajo del 70% pero ninguno subió a más del 84% (Tabla 1), esto se atribuye a pérdidas durante el proceso, principalmente en la eliminación de solvente residual en rotavapor, en los lavados para eliminar PVAL y en la liofilización. Se obtuvieron NPs de tamaño submicrónico en todos los casos, permaneciendo el tamaño promedio por debajo de los 400 nm (Tabla 1); sin embargo, al obtener los lotes en suspensión se observó la presencia de partículas sólidas finas que sedimentaban inmediatamente, por lo que al llevar a cabo la determinación del tamaño de partícula no fue posible tomar en cuenta dicho sedimento. Es interesante resaltar que en los primeros tres lotes obtenidos por MDF, el tamaño de partícula así como el índice de polidispersidad (Pdl, por sus siglas en inglés) disminuyen conforme se aumentó la cantidad de principio activo; aunque, en estudios anteriormente realizados con el método de emulsificación – difusión tradicional [7, 8] se ha reportado que al aumentar la cantidad de principio activo, el tamaño de las NPs aumenta debido al aumento de encapsulación de fármaco.

**Tabla 1.** Resultados de las evaluaciones realizadas a las NPs-CLT-CAP obtenidas por MDF

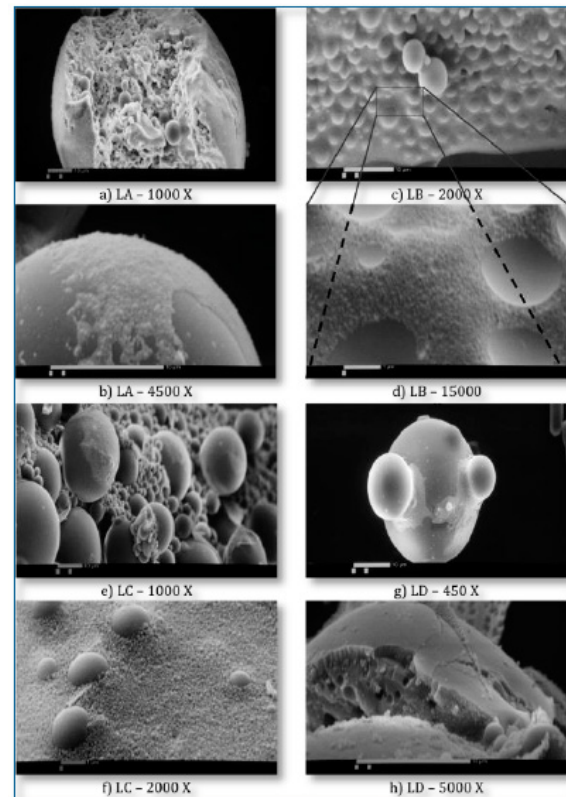
LOTE	CLT (mg)	CAP (mg)	EP (%)	TAMAÑO PROMEDIO (nm)	PdI	PVAL residual (%)
LA	50	400	81.16	360.39	0.2783	0.3473
LB	100		64.07	284.51	0.2009	2.4514
LC	150		83.92	272.00	0.1757	5.0004
LD	200		73.56	315.87	0.1987	2.0821

Los termogramas de la Figura 1 muestran que la disminución del tamaño de partícula en los lotes LA, LB y LC no está ligada a la exclusión del CLT fuera de las nanopartículas ya que al comparar el DSC de éstas con el de los cristales del principio activo y el CAP se puede observar que no existe recristalización de CLT, lo que a su vez refleja que el activo se encuentra en forma molecular embebido en la nanoesfera de polímero.



**Figura 1.** Termogramas de NPs-CLT-CAP (izquierda).  
Micrografías de CLT y CAP (derecha).

Analizando las micrografías de las NPs (Figura 2) y retomando el método de formación propuesto para el TRD podríamos proponer que con la modificación del método (MDF), es decir, evitando el proceso de difusión del solvente hacia el agua libre, el proceso de obtención de las nanopartículas es incompleto. En la micrografía del LA – 1000 X (Figura 2-a) se puede observar una partícula de varios micrómetros que muestra en su interior partículas de menor tamaño; por lo que se deduce que el proceso de difusión del solvente fue incompleto o demasiado lento. En la imagen LD – 5000 X (Figura 2-h) se observa el mismo fenómeno, es necesario recordar que la cantidad de principio activo en los dos lotes mencionados es 50 y 200, respectivamente, por lo que al observarse el mismo comportamiento no podemos asegurar que el efecto de la concentración de CLT muestre una gran influencia en el proceso. En la micrografía del lote A, LA – 4500 X (Figura 2-b), se observa en la superficie de una partícula grande NPs adheridas que sí alcanzaron a formarse dentro de la difusión que se dio en la emulsificación; éste mismo fenómeno se repite en el lote C (Figura 2-e). En las micrografías de LB y LC – 2000X (Figura 2-c y 2-f) se observan perfectamente las NPs que se formaron, sin embargo, la presencia de partículas de mucho mayor tamaño demuestra que el proceso de obtención no es del todo eficiente.



**Figura 2.** Micrografías de NPs de los lotes LA, LB, LC Y LD, respectivamente, obtenidas por MDF.  
Imágenes obtenidas por el T.A. Rodolfo Robles.

Una imagen bastante interesante es la LD–450X (Figura 2-g) en donde se presentan tres protuberancias que se forman a partir de una gran partícula. Del lado izquierdo la mayor de las tres parece que estaba a punto de desprenderse; se aprecian NPs en la superficie y en la unión de la protuberancia con la partícula de mayor tamaño. Gracias a estas imágenes, podemos corroborar que el sedimento que se observó en todos los lotes son partículas de gran tamaño que no alcanzaron a completar el proceso de difusión y por lo tanto sólo una parte del polímero y el CLT que se incluyeron en el proceso llegaron a la formación de NPs pero no hubo recristalización de CLT.

#### Preparación de NPs-CLT-CAP por TRD

Con los resultados obtenidos por MDF se decidió elaborar las NPs con por TRD para lograr obtener lotes de NPs con características más homogéneas y sin sedimento. Se prepararon por triplicado tres lotes: 50, 100 y 150 mg de CLT; y un lote únicamente de CAP para ser utilizado como blanco (Tabla 2). En cuanto a la

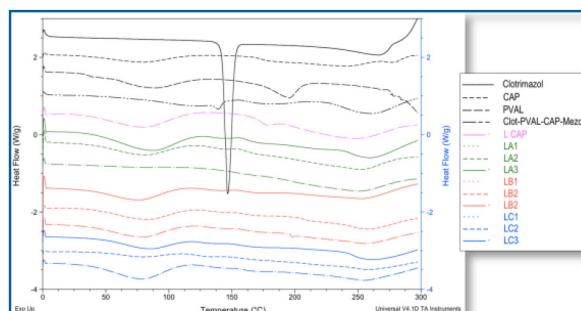
EP, todos los lotes se encontraron por arriba del 80%, excepto el lote B1, en el cual se perdió un poco de la suspensión en el momento de la evaporación a presión reducida. Las medias de las EP entre carga de CLT no presentan una diferencia significativa ( $-P > 0.05$ ), por lo que podemos afirmar estadísticamente que la EP no depende de la carga de CLT. En el caso de la cuantificación de PVAL residual, tampoco existió una diferencia significativa entre los tres niveles de CLT.

**Tabla 2.** Resultados de las evaluaciones realizadas a los lotes de NPs de CAP con COT obtenidas por TRD.

LOTE	CAP (mg)	CLT (mg)	EP (%)	PVAL residual (%)	Potencial Z (mV) $\pm$ S.D.
LA1	400	50	94.46	3.5772	-25.9 $\pm$ 1.9
LA2			87.03	4.5810	-28.0 $\pm$ 1.3
LA3			82.50	4.1806	-28.1 $\pm$ 2.5
			$\bar{X}$ 87.99	4.1129	-
			$\sigma$ 6.04	0.5053	-
LB1	400	100	78.01	3.3820	-28.0 $\pm$ 1.5
LB2			85.99	3.3875	-31.4 $\pm$ 0.9
LB3			88.43	2.1769	-31.0 $\pm$ 1.4
			$\bar{X}$ 84.14	2.9822	-
			$\sigma$ 5.45	0.6974	-
LC1	400	150	86.93	4.6174	-32.2 $\pm$ 2.3
LC2			82.87	3.6988	-29.8 $\pm$ 0.6
LC3			84.16	2.5928	-30.8 $\pm$ 2.1
			$\bar{X}$ 84.65	3.6363	-
			$\sigma$ 2.07	1.0137	-
		Valor -P (ANOVA)	0.5987	0.2704	0.0001
LCAP	400	-	92.15	-	-35.4 $\pm$ 0.9

En la Figura 3 podemos observar las calorimetrías diferenciales de barrido de cada lote, así como de cada ingrediente por separado. Se ha estudiado que si la cantidad de fármaco dentro de la formulación de la partícula es muy pequeña, el pico de fusión del principio activo puede desaparecer conforme se disminuye la cantidad de éste y así mismo reaparecer si la cantidad se aumenta; en sistemas poliméricos particulados, el fármaco puede ser solubilizado por el polímero (dispersión en estado molecular), y en este caso el pico de fusión del principio activo no se observa con el análisis térmico [9]. En las calorimetrías de los diferentes lotes de NPs no se observa ningún pico que coincida con el de los cristales de CLT, lo cual nos lleva a retomar que la inclusión del CLT en las NPs es en forma molecular. Para descartar que la ausencia del pico de CLT se debe a su pequeña proporción en las NPs, se analizó bajo las mismas condiciones en el DSC una mezcla física de los diferentes componentes, es decir, CAP, PVAL Y CLT; cada componente se adicionó a la mezcla en las proporciones en las que se encuentran en los lotes A (menor cantidad de CLT). En la curva correspondiente a dicha mezcla (Figura 3: CLT-PVAL-CAP-Mezcla) se observa un pequeño pico casi a la misma temperatura

que el de los cristales de CLT, y en ninguna de las curvas de los lotes de NPs se muestra este pico, por lo que se corrobora que aún en la pequeña proporción en la que en CLT se encuentra en las NPs, se alcanzaría a notar si hubiera habido recristalización, es decir, si no se encontrara dispersado en las NPs en forma molecular.



**Figura 3.** Termogramas de cada uno de los lotes A, B, C, L CAP, CLT, CAP y PVAL; y de la mezcla física.

Las dispersiones obtenidas, en cuanto a los tamaños de partícula, mostraron todas un Pdl por debajo de 0.14, son estrechas. Además, con respecto a los valores de Pdl obtenidos para el método MDF (Tabla 1) la uniformidad de tamaño se mejoró al utilizar el método tradicional.

**Tabla 3.** CargaCLT y EE de las NPs-CLT-CAP obtenidas por TRD

LOTE	CargaCLT (%)	EE (%)
LA1	10.26	95.80
LA2	9.27	87.87
LA3	8.97	83.62
	$\bar{X}$ 9.50	89.10
	$\sigma$ 0.68	6.18
LB1	13.45	69.71
LB2	11.02	56.67
LB3	7.47	37.90
	$\bar{X}$ 10.65	54.76
	$\sigma$ 3.01	15.99
LC1	16.18	62.15
LC2	15.39	58.19
LC3	8.08	30.47
	$\bar{X}$ 13.22	50.27
	$\sigma$ 4.47	17.26

Se puede observar en los resultados obtenidos (Tabla 3) que el promedio de la CargaCLT aumenta conforme aumenta la cantidad agregada de CLT en los lotes (Lotes C > Lotes B > Lotes A). Sin embargo, la EE va en decremento conforme aumenta la cantidad agregada de CLT. Este comportamiento nos lleva a pensar que las NPs de CAP pueden poseer una carga máxima de CLT, es decir, aunque se siga aumentando la cantidad agregada de principio activo, éste sólo se cargará hasta un límite. Es importante mencionar que estos resultados concuerdan con el tamaño de las NPs, ya que el tamaño de los diferentes lotes aún con diferentes cargas de CLT no presentan una diferencia significativa, ésta podría ser la explicación, ya que al no tener la capacidad de cargar mayor cantidad de CLT en su estructura, las NPs se mantienen dentro de un rango de tamaños. En las micrografías de los lotes LA1, LB1, LC1 Y LCAP se observó perfectamente que la morfología de las NPs es esférica y uniforme para las diferentes cargas de CLT; además se descarta la existencia de cristales de CLT y PVAL. En cuanto a los perfiles de liberación, en los primeros 300 min (5 horas) hay una liberación inicial rápida que, en los lotes A, apenas alcanza el 30%, para los lotes B dicho porcentaje se alcanza a los 200 minutos (3.3 horas) y en los lotes C sólo se requieren aproximadamente 150 min (2.5 horas) para alcanzar el 30%; este efecto de liberación inicial rápida puede deberse a el CLT adsorbido en la superficie de las NPs [10], además es notablemente dependiente de la concentración, lo cual también se ve reflejado en la pendiente de la liberación inicial de los lotes C, la cual es acentuadamente más pronunciada que las de los lotes A y B. Posteriormente las velocidades de liberación son más lentas, a las 24 horas (1500 min) apenas se percibe una pendiente en la liberación de todos los sistemas, cuya velocidad es casi constante por las siguientes 80 horas. Para obtener una visión más profunda del mecanismo de liberación, los datos obtenidos se trataron de acuerdo al modelo semiempírico Korsmeyer-Peppas [11], el cual relaciona exponencialmente el fármaco liberado con el tiempo transcurrido. De acuerdo con los exponentes difusionales obtenidos para todos los lotes el mecanismo de difusión es anómalo en todos los casos. Dash et al. [12] muestran que el modelo de Weibull es bastante útil para comparar

los perfiles de liberación de sistemas matriciales; los perfiles de liberación del CLT desde las NPs de CAP pueden ser descritos con este modelo, ya que los valores de los coeficientes de correlación están, en su mayoría, cercanos a 0.98. Lo anterior corrobora que los perfiles de liberación corresponden con el de un sistema matricial; los valores del parámetro b, caracterizan las curvas de liberación como Caso III [12], el cual corresponde a un sistema terapéutico cuya liberación inicial es rápida y posteriormente sigue un comportamiento bien definido en el cual se mantiene la liberación de CLT, durante al menos 3 días. Así también, para los diferentes lotes podemos aseverar estadísticamente que todos siguen el mismo perfil de liberación, puesto que, con fines comparativos, el parámetro b no muestra una diferencia significativa ( $-P > 0.05$ ) entre las diferentes medias de los lotes, aún entre las diferentes cargas de CLT.

## CONCLUSIONES

Con la técnica de emulsificación – difusión MDF se observó la formación de agregados de NPs-CLT-CAP debido a la deficiente difusión del solvente. Por medio de la técnica de emulsificación – difusión TRD se obtuvieron NPs-CLT-CAP con tres diferentes cargas de CLT, presentando tamaños promedio de 235-290 nm, PVAL residual menor a 4.6% y Potencial Z desde -24.0 hasta -34.5 mV. Las eficiencias de entrapamiento del principio activo disminuyeron al aumentar la carga; el CLT se incorporó en las NPs en forma molecular. Se evaluó el perfil de liberación in vitro del CLT incluido en las NPs, los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Weibull, resultando en un sistema terapéutico cuya liberación es mantenida durante cuatro días.

## AGRADECIMIENTOS

Investigación realizada gracias al Proyecto CONACYT Ciencia Básica 128799, al programa UNAM-DGA-PA-PAPIIT IN221717 y al PIAPI 1641, FES-Cuautitlán, UNAM.

Agradecimiento al T.A. Rodolfo Robles Gómez (FES-Cuautitlán) por su apoyo en las pruebas iniciales de MEB y a la M. en I.Q. Alicia del Real del Laboratorio de Microscopía, CFATA Querétaro, UNAM por su apoyo y colaboración para continuar y concluir los estudios de MEB.

María del Rocío Lara Sánchez agradece al programa de becas nacionales CONACYT (No. Beca: 245488).

## REFERENCIAS

- [1] Thurman, A. R., Doncel, G. F. (2011) Innate Immunity and Inflammatory Response to *Trichomonas vaginalis* and Bacterial Vaginosis: Relationship to HIV Acquisition. *American Journal of Reproductive Immunology* 65, 2, 89-98.
- [2] De Jong, M.A.W.P., Geijtenbeek, T.B.H.. (2009) Human immunodeficiency virus - 1 acquisition in genital mucosa: Langerhans cells as key - players. *Journal of Internal Medicine* 265, 1, 18-28.
- [3] Kaushic, C., Ferreira, V. H., Kafka, J. K., Nazli, A., (2010) HIV infection in the female genital tract: discrete influence of the local mucosal microenvironment. *American Journal of Reproductive Immunology* 63, 6, 566-575.
- [4] FDA-CDER.(2012).Vaginal Microbicides: Development for the prevention of HIV infection. Guidance for Industry, U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER),
- [5] Watts, C., Vickerman, P., (2001) The impact of microbicides on HIV and STD transmission: model projections. *AIDS* 15 S43-S44.
- [6] Pritchard, J.G., Akintola, D.A., (1972) Complexation of polyvinyl alcohol with iodine: analytical precision and mechanism. *Talanta* 19, 7, 877-888.
- [7] Piñón-Segundo, E., Ganem-Quintanar, A., Alonso-Pérez, V., Quintanar-Guerrero D., (2005) Preparation and characterization of triclosan nanoparticles for periodontal treatment. *International Journal of Pharmaceutics* 294, 217-232.

## INCLUSIÓN DE LA TETRAFENILPORFIRINA EN LIPOSOMAS ELÁSTICOS PARA SU LIBERACIÓN TRANSDÉRMICA

R. Iris Y. Quiroz Segoviano<sup>1</sup>, Angélica Vite Villaseñor<sup>1</sup>, Flora Adriana Ganem Rondero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Investigación y Posgrado en Tecnología Farmacéutica, L-322, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán C1, UNAM

[irisyahel@hotmail.com](mailto:irisyahel@hotmail.com)

### RESUMEN

Durante más de tres décadas a la fecha, se han utilizado porfirinas en terapia fotodinámica (TFD) para el tratamiento del cáncer y algunas afecciones de la piel. Dos de los retos que se presentan al utilizar porfirinas en TFD es su administración y dosificación. En la actualidad existen sistemas comerciales que permiten su administración de manera tópica o parenteral. En este proyecto de investigación se desarrolló una metodología para la incorporación de una porfirina modelo, la base libre tetrafenilporfirina [H2TPP, C44H30N4], en liposomas elásticos como una alternativa para su liberación transdérmica.

**PALABRAS CLAVE:** Tetrafenilporfirinas, Terapia Fotodinámica, Fotosensibilizadores, Liposomas Elásticos, Liberación.

### ANTECEDENTES

Las porfirinas, al presentar fluorescencia roja en el intervalo que se extiende desde 600 a 730 nm, han sido estudiadas exhaustivamente como fotosensibilizadores en terapia fotodinámica (TFD), obteniéndose buenos resultados en el tratamiento de diferentes tipos de tumores malignos, además de que, algunas especies también poseen actividad antibacteriana [1].

En terapia fotodinámica, además de la importancia de la capacidad de las porfirinas de producir agentes súper oxidantes, el vehículo de liberación de dichas especies juega un papel preponderante, ya que las porfirinas son por lo general moléculas poco solubles en agua, y tienden a formar agregados en solución acuosa [2], por lo que resulta conveniente incorporarlas a sistemas para incrementar su biodistribución, tales como los liposomas elásticos.

Los liposomas elásticos, tienen múltiples ventajas

como sistemas acarreadores, entre las que pueden mencionarse: (i) Posibilidad de encapsular una gran variedad de fármacos; (ii) promoción de la difusión de los fármacos, al interactuar con los componentes celulares, alterando la barrera de permeabilidad cutánea; (iii) transporte del fármaco incluido hacia capas internas, debido a su capacidad para deformarse y penetrar a través de los espacios intercelulares; (iv) incremento de la estabilidad del ingrediente activo; (v) alta biocompatibilidad [3].

Por tanto, en este proyecto de investigación se ha desarrollado una metodología para la incorporación de la tetrafenilporfirina [H2TPP, C44H30N4] en liposomas elásticos, como alternativa para su administración.

### OBJETIVO(S)

Desarrollar la metodología para la incorporación de la H2TPP en liposomas elásticos para su administración en piel.

### PARTE EXPERIMENTAL

#### Síntesis de la porfirina H2TPP

La base libre H2TPP se sintetizó, mediante el método Adler [4], a partir de pirrol (Sigma-Aldrich, EUA) y benzaldehído (Sigma-Aldrich, EUA) con una relación molar de 4:4, ambos disueltos en ácido propiónico (Sigma-Aldrich, EUA), el cuál fue usado como medio de reacción (Fig. 1). La reacción se mantuvo a reflujo durante 2 h, tiempo en que fue monitorizada con espectroscopía de absorción en la región UV-Vis del espectro electromagnético.

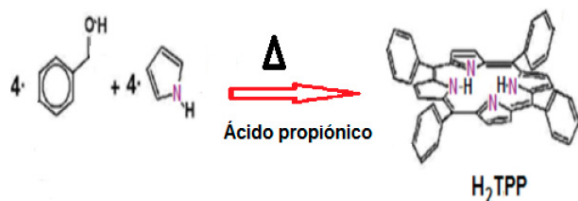


Figura 1. Método Adler.

#### Síntesis de la porfirina H2TPP

La base libre H2TPP se sintetizó, mediante el método Adler [4], a partir de pirrol (Sigma-Aldrich, EUA) y benzaldehído (Sigma-Aldrich, EUA) con una relación molar de 4:4, ambos disueltos en ácido propiónico (Sigma-Aldrich, EUA), el cuál fue usado como medio de reacción (Fig. 1). La reacción se mantuvo a reflujo durante 2 h, tiempo en que fue monitorizada con espectroscopía de absorción en la región UV-Vis del espectro electromagnético.

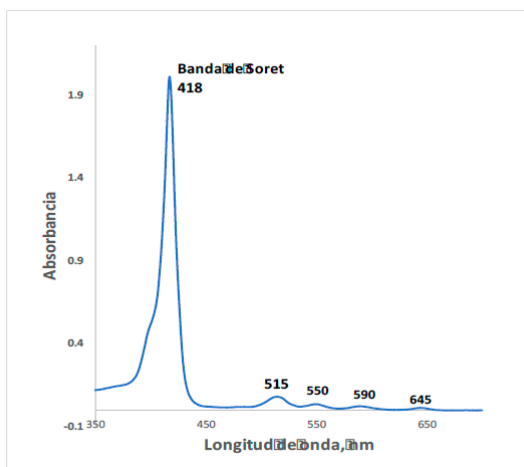


Figura 2. Espectro de absorción de la base libre H<sub>2</sub>TPP.

Los liposomas elaborados mostraron características adecuadas en cuanto a tamaño, índice de polidispersión y potencial Z (Tablas 1 y 2). Se realizó una prueba de ANOVA con la cual se determinó que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el tamaño de vesícula (nm) para los lotes recién preparados y después de 8 y 15 días.

Respecto al potencial Z se realizó una prueba de ANOVA, y puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de potencial Z (mV), con un nivel del 95.0% de confianza para ninguno de los lotes preparados en función del tiempo.

Tabla 1. Resultados del tamaño de vesícula, índice de polidispersión y potencial Z de los liposomas elásticos placebo en función del tiempo

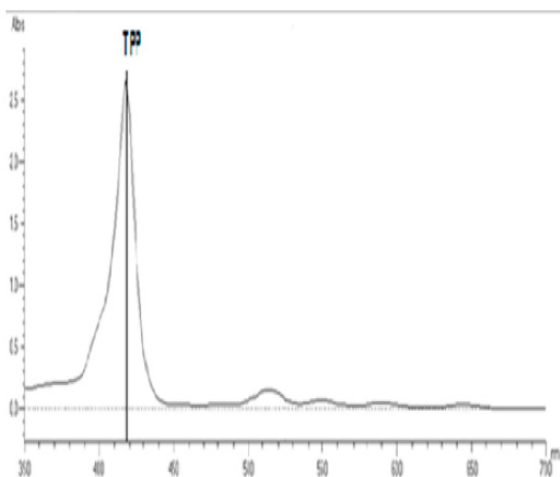
Muestra	Liposomas placebo sin extrauir			Liposomas placebo extrauidos (0.22 µm)		
	Día 0	Día 8	Día 15	Día 0	Día 8	Día 15
<b>Tamaño (nm)</b>	304.9 9+ 16.2 0	305.7 7+ 15.4 3	320.8 8+ 100. 6	215.0 0 + 5.12	213.9 9+ 3.8	215.8 8+ 5.2
<b>IPd</b>	0.29 6+ 0.03	0.29 4+ 0.04	0.29 1+ 0.03	0.22 3 + 0.01	0.23 3+ 0.01	0.22 4+ 0.01
<b>Potencial Z (mV)</b>	-36.0 + 3.61	-21.7 + 8.40	-30.7 + 3.64	-25.4 + 2.12	-14.1 + 7.31	-22.8 + 3.96

Tabla 2. Resultados del tamaño de vesícula, índice de polidispersión y potencial Z de los liposomas elásticos cargados en función del tiempo

Muestra	Liposomas placebo sin extrauir			Liposomas placebo extrauidos (0.22 µm)			Liposomas cargados sin extrauir			Liposomas cargados extrauidos (0.22 µm)		
	Día 0	Día 8	Día 15	Día 0	Día 8	Día 15	Día 0	Día 8	Día 15	Día 0	Día 8	Día 15
<b>Tamaño (nm)</b>	304.9 ± 16.20	305.7 ± 15.43	320.8 ± 10.6	215.0 ± 5.12	213.9 ± 3.8	215.8 ± 5.2	338.2 ± 16.32	332.9 ± 16.61	343.3 ± 15.92	219.9 ± 7.60	225.7 ± 7.03	223.1 ± 8.18
<b>IPd</b>	0.296 ± 0.03	0.294 ± 0.04	0.291 ± 0.03	0.223 ± 0.01	0.233 ± 0.01	0.224 ± 0.01	0.307 ± 0.03	0.321 ± 0.05	0.307 ± 0.03	0.235 ± 0.01	0.239 ± 0.01	0.237 ± 0.00
<b>Potencial Z (mV)</b>	-36.0 ± 3.61	-21.7 ± 8.40	-30.7 ± 3.64	-25.4 ± 2.12	-14.1 ± 7.31	-22.8 ± 3.96	-31.1 ± 3.79	-24.4 ± 3.19	-30.0 ± 3.34	-21.8 ± 4.65	-18.3 ± 1.11	-17.9 ± 8.70

Muestra	Liposomas cargados sin extraer			Liposomas cargados extruidos (0.22 µm)		
	Día 0	Día 8	Día 15	Día 0	Día 8	Día 15
Tamaño (nm)	338.2 ± 16.32	332.9 ± 16.61	343.3 ± 15.97	219.9 ± 7.60	225.7 ± 7.03	223.1 ± 8.18
IPd	0.307 ± 0.03	0.321 ± 0.05	0.307 ± 0.03	0.235 ± 0.01	0.239 ± 0.01	0.237 ± 0.00
Potencial Z (mV)	-31.1 ± 3.79	-24.4 ± 3.19	-30.0 ± 3.34	-21.8 ± 4.65	-18.3 ± 1.11	-17.9 ± 8.70

Después de caracterizar los sistemas, se determinó la eficiencia de encapsulamiento en los liposomas, obteniendo un valor máximo de  $4.96 \pm 0.56 \%$  (Tabla 2). Cabe mencionar que se logró encapsular a la H2TPP de manera estable, es decir, no presenta señales de protonación, tal como se observa en el espectro de absorción, (Fig. 3), el cual es parecido al que la poririna presenta en solución.



**Figura 3.** Espectro de absorción de H2TPP en la región UV-Vis incorporada en los liposomas elásticos (Lote 2)

Para determinar la eficiencia de encapsulamiento de la H2TPP en los liposomas, se desarrolló un método espectrofotométrico. De tal modo que se construyó una curva de calibración en dimetilsulfóxido (DMSO) usando la banda de Soret, registrada a 418 nm, con valores de  $r^2 = 0.99961$ , pendiente de 0.2168 y un intercepto de 0.0083 que estadísticamente es igual a 0.

El porcentaje de eficiencia de encapsulación del fármaco (% EE) en los liposomas elásticos (LE), reportado en Tabla 3, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$EE (\%) = \frac{\text{Cantidad de fármaco incluido en LE}}{\text{Cantidad inicial de fármaco}} \times 100$$

**Tabla 3.** Eficiencia de encapsulamiento de los liposomas elásticos con H2TPP, extruidos a través de una membrana de 0.22 µm

No. Lote	Encapsulamiento (µg/mL)	% EE	µg de TPP/mg Prolipo Neo®
LOTE 1	63.17 + 6.52	4.53 + 0.46	15.53 + 0.01
LOTE 2	69.18 + 7.85	4.96 + 0.56	17.00 + 2.30
LOTE 3	33.3 + 4.2	2.39 + 0.30	8.20 + 0.24

## CONCLUSIONES

La metodología desarrollada, permitió incorporar la tetrafenilporfirina de manera estable, sin presentar señales de protonación ni agregación. Sin embargo, se proponen modificaciones en la metodología que podrían ayudar a incrementar la tasa de encapsulación de dicha especie, ya que la obtenida es muy baja.

Los resultados obtenidos hasta el momento permitirán continuar con esta línea de investigación para la incorporación de otras especies, tales como la tetrakis-pa-ra-carboxi-fenilporfirina [H2T(p-COOH)PP, C48H-30N4O8] para más adelante, determinar el grado de penetración en piel de ambas especies.



## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos enormemente la beca otorgada por DGAPA para el desarrollo de esta investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Marijnissen, J. P. A., Star, W. M., (1987) Quantitative light dosimetry in vitro and in vivo. *Lasers Med. Sci.* 2 235.
- [2] Oenbrink, G., Jurgenlimke, P., Gabel, D., (1988) Accumulation of porphyrins in cells: influence of hydrophobicity aggregation and protein binding. *Photochem. Photobiol.* 48, 451.
- [3] El-Maghraby G. M., Barry, B. W., Williams, A. C., (2008) Liposomes and skin: from drug delivery to model membranes. *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 34, 203.
- [4] Adler, A. D., Longo, F. R., Finarelli, J. D., Goldma-Cher, J., Assour, J., Korsakoff, L., (1967) A simplified synthesis for meso-tetraphenylporphine. *J. Org. Chem*, 32, 476.
- [5] Meyer, L., Cosmetics. Technical File, enviado en agosto de 2017.
- [6] Castriciano, M. A., Romeo, A., Angelini, N., Micali N., Longo, A., Mazzaglia, A., Scolaro, L. M., (2006) Structural Features of meso-Tetrakis(4-carboxyphenyl) porphyrin Interacting with Amino-Terminated Poly(propylene oxide). *Macromolecules*, 39, 5489.

## EVALUACIÓN DEL GRADO DEL ERITEMA *in vivo* DE UNA MICROEMULSIÓN PLACEBO

Valentina Carvajal García<sup>1</sup>, R. Iris Y. Quiroz Segoviano<sup>2</sup>, Adriana Ganem Rondero<sup>2</sup>, María Guadalupe Nava<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Química, Universidad Veracruzana,

<sup>2</sup>Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México

[email@email.org.zz](mailto:email@email.org.zz), [dire@email.org.zz](mailto:dire@email.org.zz)

### RESUMEN

La terapia fotodinámica (TFD) ha resultado ser una buena alternativa terapéutica para el tratamiento del cáncer y algunas otras afectaciones de la piel por sus efectos localizados, sin embargo puede provocar efectos secundarios temporales, tales como, quemaduras, hinchazón, dolor e irritación en el área de aplicación. Por tal motivo, resulta imperante el desarrollar formas farmacéuticas que eviten y/o reduzcan dichos efectos secundarios. No obstante, es importante asegurar que la formulación por sí misma, no presente efectos secundarios sobre la piel (e.g., irritación o eritema), siendo particularmente importante en el caso de microemulsiones, por el alto contenido de surfactantes y cosurfactantes necesarios para su preparación. Con este fin, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la evaluación del grado de eritema *in vivo* de una microemulsión placebo.

**PALABRAS CLAVE:** *Microemulsión, eritema, mexameter.*

### ANTECEDENTES

La terapia fotodinámica (TFD) es un procedimiento médico y cosmético empleado para el tratamiento del cáncer y algunas otras afecciones de la piel. Esta técnica se basa principalmente en la administración de un agente fotosensible, el cual es activado por una fuente de radiación electromagnética con determinada longitud de onda para producir especies reactivas de oxígeno y radicales libres. Estas especies hiperoxidantes son las responsables de los efectos terapéuticos, ya que atacan a las células malignas provocando apoptosis, como efecto anticancerígeno, o bien causan un efecto antibacteriano, por mencionar algunos.

A pesar de que los efectos de la TFD son localizados, debido a la selectividad de la técnica, pueden presentarse efectos secundarios temporales, tales como quemaduras, hinchazón, dolor e irritación en el área de aplicación. Por tal motivo, uno de los retos que presenta esta técnica a la hora de administrar el fotosensibilizador es desarrollar formas

farmacéuticas que eviten y/o reduzcan dichos efectos secundarios. Por tal motivo, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la evaluación del grado de eritema *in vivo* de una microemulsión (forma farmacéutica) para la administración transdérmica de un fotosensibilizador que, en este caso, será la base libre de tetrafenilporfirina.

Las porfirinas, al presentar fluorescencia roja en el intervalo que se extiende desde 600 a 730 nm, han sido estudiadas exhaustivamente como fotosensibilizadores en terapia fotodinámica (TFD), obteniéndose buenos resultados en el tratamiento de diferentes tipos de tumores malignos, además de que, algunas especies también poseen actividad antibacteriana [1]. En terapia fotodinámica, además de la importancia de la capacidad de las porfirinas de producir agentes súper oxidantes, el vehículo de liberación de dichas especies juega un papel preponderante, ya que las porfirinas son por lo general moléculas poco solubles en agua, y tienden a formar agregados en solución acuosa [2], por lo que resulta conveniente incorporarlas a sistemas

de liberación para incrementar su biodistribución, tales como las microemulsiones [3].

Las microemulsiones son sistemas efectivos para la liberación transdérmica de fármacos, esto se debe a que su composición y tamaño de glóbulo favorecen el transporte transcutáneo y la cesión gradual del fármaco [4]. No obstante, su composición per se, puede provocar irritación, debido al alto contenido de surfactantes y cosurfactantes.

El color de la piel se encuentra determinado principalmente por pigmentos como la hemoglobina, melanina, bilirrubina y caroteno, estos componentes pueden ser alterados significativamente por luz UV y diversas sustancias (drogas, irritantes, etc.).

En diversas ocasiones, parámetros adicionales tales como el índice del eritema y el índice de melanina son evaluados con el fin de obtener información extra sobre la fisiología de la piel o las reacciones que se pueden ir presentando en ella. Como consecuencia, el color de la piel permanece como un parámetro valioso, el cual se puede cuantificar objetivamente mediante diversos métodos instrumentales desarrollados en la actualidad. [5].

El eritema es la reacción a la inflamación de la piel, debido al exceso de riego sanguíneo por vasodilatación y se caracteriza por presentar un enrojecimiento [6]. Para la evaluación del grado del eritema se utilizan diferentes equipos, entre ellos el Mexameter® MX 18 (Courage +Khazaka electronic GmbH – Alemania) [5]. Según la página del proveedor, el Mexameter® MX 18 es un equipo que mide dos componentes, los cuales son los principales responsables de la coloración en la piel; la melanina y la hemoglobina (eritema) mediante la reflectancia. [7].

Las medidas se basan en la determinación de la reflexión de la luz no absorbida por la zona de piel muestreada, sobre la que inicialmente se hace incidir una cantidad de radiación de características conocidas [8].

## OBJETIVO

Evaluar el grado del eritema que se pueda generar debido a la aplicación tópica in vivo de una microemulsión placebo (Capriol®, Transcutol® y Labrasol®) en voluntarios sanos.

## DESARROLLO

Participaron 7 voluntarios sanos en esta evaluación a los cuales se les explicó tanto el protocolo como el

objetivo del estudio, y que posteriormente firmaron una carta de consentimiento informado.

Se realizaron medidas in vivo en el área del antebrazo, utilizando el antebrazo derecho para la aplicación de la microemulsión placebo y el antebrazo izquierdo como control negativo; para ambos antebrazos se demarcaron 4 áreas de 4 cm<sup>2</sup> dejando un espacio de 2 cm entre cada una de ellas, cada área corresponde a un intervalo de tiempo determinado para la determinación del grado del eritema.

Se realizaron medidas iniciales para cada una de las áreas designadas antes de la aplicación de la microemulsión placebo y antes de realizar el control negativo, la aplicación tanto de la microemulsión placebo como del agua utilizado como control se llevó a cabo con ayuda de papel filtro el cual se humectó y se colocó en el área a tratar, posteriormente se cubrió el antebrazo con papel adherente para mantener el contacto con la piel.

Se realizaron medidas por quintuplicado en intervalos de 30 minutos hasta llegar a los 120 minutos. La evaluación del grado del eritema se determinó utilizando una escala de 4 puntos; (0) ausencia, (1) leve, (2) moderado, (3) severo y se analizó la variación del índice de eritema para cada tiempo, dicho parámetro fue medido utilizando el Mexameter® MX 18 (Courage +Khazaka electronic GmbH – Alemania).

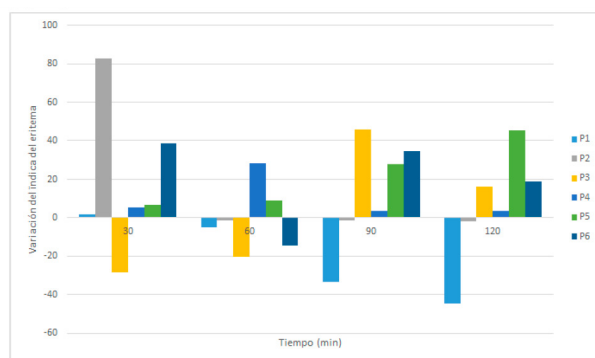
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de uno de los voluntarios fueron excluidos del análisis de resultados ya que durante el estudio presentó sensibilización en el área del antebrazo control debido al procedimiento realizado. Los valores correspondientes al índice del eritema obtenido con el equipo Mexameter® MX 18 varían desde 199.2 hasta 261.4 antes de la aplicación de la microemulsión placebo y desde 188.6 hasta 291.4 después de la microemulsión placebo; en cuanto a la reproducibilidad de las mediciones in vivo se realizaron 5 lecturas en cada área obteniendo CV altos (desde 9 hasta 19%); los valores promedio obtenidos en las mediciones previas y posteriores a la aplicación de la microemulsión placebo se encuentran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Resultados promedio  $\pm$  desviación estándar de la medición del índice del eritema promedio (n=6) en voluntarios sanos.

Tiempo (min)	Antes	Después
30	222.23 $\pm$ 41.52	240.03 $\pm$ 40.29
60	228.93 $\pm$ 23.84	228.27 $\pm$ 13.27
90	223.43 $\pm$ 28.27	236.30 $\pm$ 22.20
120	232.80 $\pm$ 16.72	239.03 $\pm$ 23.95

Se analizaron los datos obtenidos antes y después de la aplicación de la microemulsión placebo y se obtuvieron incrementos en el índice del eritema con valores menores a 150. En la Fig. 1 se pueden observar las respectivas variaciones en los diferentes sujetos de estudio; donde la mayor variación fue de 82.8 en el tiempo 30, sin embargo, permanece en el rango que lo cataloga como grado 0 de eritema, también se observan varias variaciones negativas en el índice del eritema en los diferentes tiempos de muestreo.



**Figura 1.** Variación del índice del eritema en los diferentes intervalos de tiempo para 6 voluntarios (P1 a P6).

Dado que no hay valores de incremento mayores a 150 en el índice del eritema se determinó que cada uno de los tiempos de muestreo presentan grado de eritema 0, durante el estudio se realizaron valoraciones visuales y no se observó formación de eritema en los tiempos de muestreo, dicha información es confirmada por la respuesta del equipo de medición.

## CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio fue determinar si la aplicación de la microemulsión placebo (Capriol®, Transcutol® y Labrasol®) podía llegar a generar algún tipo de irritación en la piel, evidenciándose como un aumento en el índice del eritema de cada individuo. Según las valoraciones visuales y las medidas obtenidas con el equipo Mexameter® MX 18, la microemulsión placebo no genera irritación cutánea ni genera eritema hasta 120 minutos después de su aplicación; debido a los altos valores de CV se recomienda utilizar áreas de aplicación más grandes y una leve presión al momento de realizar las mediciones, de igual forma se recomienda no generar oclusión con materiales que puedan ejercer presión en el área de evaluación ya que esto puede interferir con los resultados obtenidos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero otorgado por los proyectos PAPIIT IN216016 y PIAPI 1641.

## REFERENCIAS

- [1] Marijnissen, J. P. A., Star, W. M., (1987) Quantitative light dosimetry in vitro and in vivo. *Lasers Med. Sci.* 2, 235.
- [2] Oenbrink, G., Jurgenlimke, P., Gabel, D., (1988) Accumulation of porphyrins in cells: influence of hydrophobicity aggregation and protein binding. *Photochem. Photobiol.* 48, 451.
- [3] Schmalfluss, U., Neubert, R., Wohlrab, W., Modification of drug penetration into human skin using microemulsions. *J. Control. Release* 46 (1997) 279.
- [4] Kogan, A., Garti, N., (2006) Microemulsions as transdermal drug delivery vehicles. *Advances in Colloid and Interface Science* 369, 123-126
- [5] P. Clarys, K., Alewaeters, R. Lambrecht, A, Barel, O., (2000) Skin color measurements: comparison between three instruments: the Chromameter®, the DermaSpectrometer® and the Mexameter®. *Skin Res. Technol.* 6, 230.
- [6] ECU RED (2018). Eritema (n. d.). Recuperado de: <https://www.ecured.cu/Eritema>.
- [7] Scientific Devices Mexameter® MX 18. (n. d.). Recuperado de: <http://courage-khazaka.de/index.php/en/products/scientific/130-mexameter>.

## ESPECTROSCOPIA FT-IR Y TÉCNICAS NO SUPERVISADAS PARA LA DIFERENCIACIÓN DE TEQUILAS MIXTOS Y 100% AGAVE

David Miranda López<sup>1</sup>, Guadalupe Pérez Caballero\*<sup>1</sup>, José Manuel Andrade Garda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Fisicoquímica Analítica, Unidad de Investigación Multidisciplinaria, Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, Campo 4, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, 54700, Edo. México, México.

<sup>2</sup>Sección de Química Analítica, Universidad de Coruña, Campus Zapateira, s/n. 15008, España

perezcg@unam.mx, andrade@udc.es

### RESUMEN

El tequila al ser elaborado con agave tequilana Weber variedad azul puede encontrarse como 100 % agave o mixto. Para la industria tequilera es importante contar con métodos para la diferenciación de estas dos categorías. En el presente trabajo se elaboró un modelo no supervisado quimiométrico (PCA y CA) para la diferenciación de tequilas mixtos y 100% agave mediante la utilización de espectroscopia FT-MIR. Se trabajaron tequilas jóvenes y blancos de ambas categorías. Se utilizó el software GenEx para el análisis multivariante. Los modelos óptimos fueron obtenidos, además se logró la diferenciación de las categorías por porcentaje de etanol. Las técnicas aquí empleadas demuestran que es posible diferenciar las categorías mediante análisis baratos y fáciles de implementar.

**PALABRAS CLAVE:** Tequila, Bebidas alcohólicas, Quimiometría, Espectroscopia, Análisis multivariable.

### ANTECEDENTES

El tequila es una bebida alcohólica mexicana reconocida mundialmente por su sabor único. La producción del tequila está regulada por la Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI. De acuerdo a esta norma los tequilas se clasifican por su tiempo de añejamiento en: tequila plata o blanco, resultado de una doble destilación; el reposado, madura por lo menos 2 meses; el añejo, al menos 1 año y el extra añejo más de 3 años [1]. El joven es la combinación de un blanco con un reposado o incluso con añejo o extra añejo.

De acuerdo al porcentaje de azúcares provenientes del Agave tequilana Weber variedad azul, surgen dos categorías: Tequila 100% Agave y Tequila Mixto. Cuando se utilizan azúcares provenientes únicamente de este agave es llamado "Tequila 100% Agave" y si es enriquecido con otros azúcares en una cantidad menor al

51%, se le denomina "Tequila mixto" o "Tequila". En este sentido, es de suma importancia disponer de un método de análisis sencillo y fiable para diferenciar entre estas dos categorías.

Se han reportado varias técnicas analíticas para discriminar entre Tequila 100% agave y Tequila mixto. El empleo de las relaciones de isótopos estables [2,3, 4,5], mediante la evaluación de las relaciones  $^{18}O/^{16}O$ - y  $^{13}C/^{12}C$  de etanol vía el análisis por SPME-HRGC-IRMS (Headspace SPME Gas Chromatography-Isotope Ratio Mass Spectrometry) [5]. Sin embargo, las técnicas son sofisticadas y sólo están disponibles en un número limitado de laboratorios. En otros estudios, se han determinado las concentraciones de metanol y 2-/3-metil-1-butanol por Cromatografía de Gases y su correlación para evaluar la autenticidad de muestras de tequila. Asimismo,

se ha constatado que el contenido de compuestos volátiles, responsables del aroma al tequila, tales como fenil etanol,  $\alpha$ -terpineol, furfural, benzaldehído, se encuentran en un alto contenido en tequilas 100% agave con respecto a los tequilas mixtos, lo cual depende de la materia prima usada en su producción. No obstante, las determinaciones de  $^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  para el análisis de las relaciones isotópicas de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  por la espectrometría de masas (IR MS) así como las relaciones de Deuterio/Hidrógeno (D/H) de etanol por SNIF-NMR (Site Specific Natural Isotopic Fractionation studied by Nuclear Magnetic Resonance) [6], mostraron pocas posibilidades en la autenticación de las categorías [7].

En el presente trabajo se construyeron diferentes modelos por dos técnicas quimiométricas no supervisadas, como son Análisis de Componentes Principales (PCA) y Análisis Cluster (CA), para la diferenciación de Tequilas 100% agave y mixtos, empleando tequilas blancos y jóvenes a partir de datos FT-MIR con muestras proporcionadas por el CRT.

## OBJETIVO

Desarrollar modelos para la diferenciación de tequilas mixtos y 100% agave por medio de espectroscopia FT-MIR y técnicas no supervisadas

## PARTE EXPERIMENTAL

Las muestras fueron proporcionadas por el Consejo Regulador del Tequila: 80 muestras de tequilas (16 blancos mixtos, 23 jóvenes mixtos y 41 100% agave).

**Obtención de los espectros:** Los espectros fueron obtenidos en Transmitancia en un espectrómetro Perkin Elmer, modelo FT-IR Frontier, en el intervalo de 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$  con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ , con 16 barridos, equipado con un dispositivo ATR de diamante de 1 reflexión.

**Software:** GenEx© (MultiDAnalysis AB, Gotemburgo, Suecia).

**Pretratamiento:** Los espectros fueron transformados en absorbancia, corrección de ATR, corrección manual de línea base y se ajustaron a cero.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 presenta el conjunto de espectros en el intervalo de 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$  la cual muestra un gran traslape. No obstante, en la región de 3000 a 3500

$\text{cm}^{-1}$  se encuentra una banda ancha que corresponde a la señal del O-H del etanol y agua. En el máximo de esta banda se aprecian dos grupos de espectros intercalados correspondientes, en el superior coexisten los tequilas 100% agave y mixtos (TP) y otro donde predominan los mixtos (TM). En experimentos previos se constató que la intensidad de esta banda disminuye a medida que el contenido de etanol aumenta, por lo que la mayoría de los TP analizados presentan menos contenido alcohólico que los TM.

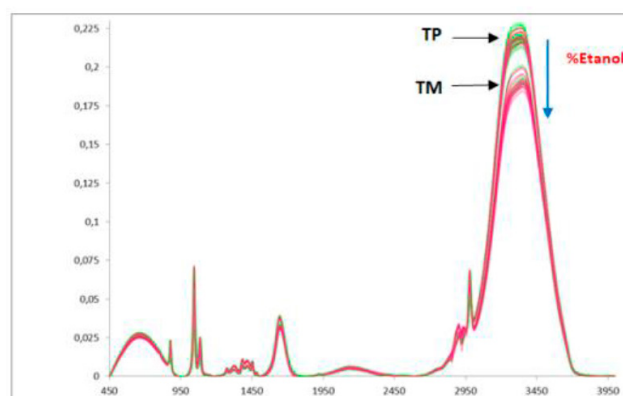


Figura 1. Espectros FT-MIR de 80 muestras del CRT, intervalo de 4000-450  $\text{cm}^{-1}$ , sin escalado.

## ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES Y ANÁLISIS CLUSTER

En la Tabla 1 se presentan los símbolos y colores usados en los modelos de PCA y CA para la diferenciación de tequilas por categoría.

Tabla 1. Símbolos y colores para los tequilas

Tequila	Símbolo y color
Blancos (100% Agave)	▲ (Verde)
Blancos y Jóvenes (Mixtos)	● (Púrpura)

Las figuras 2a y 2b representa los diagramas de scores en los subespecies PC1-PC2 y PC1-PC2-PC3, respectivamente. En ambas figuras se puede apreciar la formación de dos conjuntos correspondientes a las categorías (Mixtos y 100% Agave).

Este modelo se realizó con 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$ , con datos brutos y auto escalado. Tres PC's explican el 99.999% de la varianza inicial (PC1:99.9231%, PC2:0.0748%, PC3:0.0011%). Se observa que PC2 es el componente responsable de la separación entre las dos categorías. A su vez en cada grupo se denotan dos subgrupos, en función de PC1 y PC2. En mixtos, el TMA y el TMB, y en el 100% agave, el TPA y el TPB.

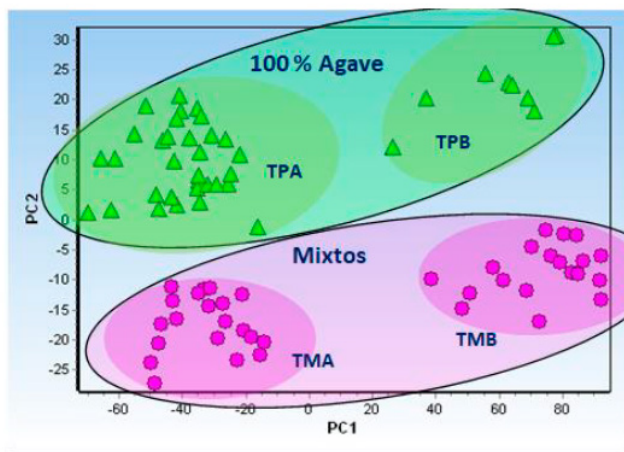


Figura 2a. Diagrama de scores en el subespacio PC1-PC2.

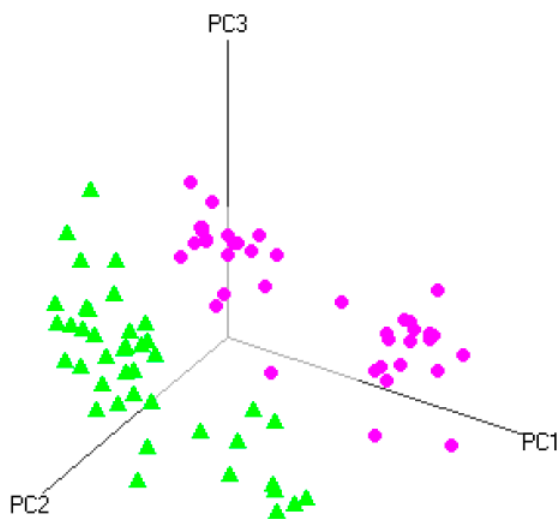


Figura 2b. Diagrama de scores en el subespacio PC1-PC2-PC3.

El dendrograma de la figura 3 fue obtenido con algoritmo de Ward y correlación de Pearson, auto-escalado en el intervalo 4000 a 450  $\text{cm}^{-1}$ . En este dendrograma se observa la separación que Tequilas mixtos (TMA y TMB) y 100% Agave (TPA y TPB) por subgrupos. El orden de aparición de estos subgrupos es según su grado alcohólico. De izquierda a derecha aumenta el grado de etanol, es decir, el TPA tiene el menor porcentaje de etanol mientras que el TMB es el de mayor porcentaje. El agrupamiento uno está constituido por los subgrupos TMA y TPA y el dos por TMB y TPB.

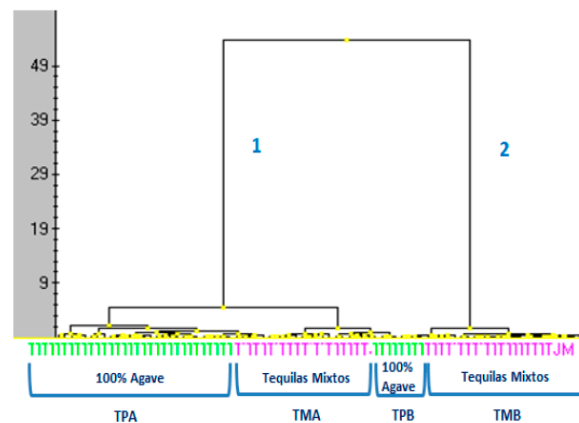


Figura 3. Dendrograma algoritmo Ward y correlación de Pearson, autoescalado en el intervalo 4000-450  $\text{cm}^{-1}$ .

En los modelos de PCA y CA, la formación de los subgrupos TMA, TMB y TPA, TPB en las categorías mixtos y 100% de agave, respectivamente, tienen relación con el contenido de etanol. Los intervalos de porcentaje de etanol en cada categoría están en resumen en las tablas 2 y 3. Así, se puede constatar que el contenido alcohólico de los subgrupos TMA y TPA suelen tener un porcentaje de etanol más bajo con respecto al TMB y TPB.

Tabla 2. Porcentaje de etanol en tequilas mixtos reportadas por el CRT.

% EtOH TEQUILAS MIXTOS	
TMA	TMB
~ 35 – 42 %	~ 52 - 55 %

**Tabla 3.** Porcentaje de etanol en tequilas 100% Agave reportadas por el CRT.

% EtOH TEQUILAS 100% AGAVE	
TPA	TPB
~35.5 a 40 %	~52 a 55 %

## CONCLUSIONES

Se elaboraron modelos óptimos para la discriminación de tequilas mixtos y 100% agave mediante la combinación de datos FT-MIR y técnicas no supervisadas de PCA y CA en todo el intervalo, con datos brutos y autoescalado.

Adicionalmente, surgieron la formación de los subgrupos TMA, TMB y TPA, TPB en las categorías mixtos y 100% de agave, respectivamente, los cuales tuvieron relación con el contenido de etanol. Asimismo, se constató que el contenido alcohólico de los subgrupos TMA y TPA suelen tener un porcentaje de etanol más bajo con respecto al TMB y TPB.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al 'Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT)-UNAM' (Clave. IT200918) y al 'Programa Interno de Apoyo Para Proyectos e Investigación' (PIAPI) 1651 por el apoyo para realizar el presente trabajo.

Se extiende un amplio agradecimiento al Consejo Regulador del Tequila por el suministro de las muestras de tequilas, para la realización del presente trabajo.

El Grupo QANAP (Química Analítica Aplicada) agradece a la Xunta de Galicia la Financiación como Grupo de Referencia Competitivo (Ref:ED431C 2017/28).

## REFERENCIAS

- [1] NOM-006-SCFI-2012. (2012) Bebidas alcohólicas-Tequila-Especificaciones. Diario Oficial de la Federación, p. 20, México.
- [2] Hener U., Mosandl A., Hilkert A., Bahrs-Windsberger J., GroBmann M., Sponholz W.R. (1998) *Vitic. Enol. Sci.* 2:1-11.
- [3] Krammer G.E., Gatfield I., Güntert M., Hilmer J.M., Schmidt C.O., Sommer H., Werkhoff, Kaulen J., (2001) En: Schieberle P., Engel K.H. (eds) *Frontiers of flavour science*. Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching, Alemania, 111-116.
- [4] Henry Y., Douthitt C.B., Juchelka D. (2001) Poster at the 6th International Symposium on Food Authenticity and Safety, Nantes, Francia.
- [5] Aguilar-Cisneros B.O., López M.G., Richling E., Heckel F., Schreier P. (2002) *J Agric Food Chem*, 50, 7520-7523.
- [6] Martin G., Akoka J.S., Martin M.L. (2006). *SNIF-NMR—Part 1: Principles*. G.A. Webb (Ed.), *Modern magnetic resonance, part 3*, Springer, Dordrecht, Netherlands, 1629.
- [7] Bauer-Christoph C., Christoph N., Aguilar-Cisneros B.O., López M.G., Richling E., Rossmann A., Schreier P. (2003). Authentication of tequila by gas chromatography and stable isotope ratio analyses. *Eur. Food Res. Technol.* 217, 438–443.



## DETERMINACIÓN DE SUBSALICILATO DE BISMUTO EN MEDICAMENTOS MEDIANTE SU CURVA DE CALIBRACIÓN Y ADICIONES PATRÓN EMPLEANDO LA TÉCNICA DE ESPECTROFOTOMETRÍA VISIBLE Y TIOUREA COMO RECTIVO CROMOGENICO°

Alma Luisa Revilla Vázquez, Pablo Hernández Matamoros\*

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán,  
Universidad Nacional Autónoma de México, Sección de Química Analítica

[almarv@unam.mx](mailto:almarv@unam.mx); [pablohdez@unam.mx](mailto:pablohdez@unam.mx)

### RESUMEN

En este trabajo en particular se desarrolló la cuantificación de subsalicilato de bismuto, en SIPAROX (suspensión) e ITALMOL (tabletas) mediante la complejación del bismuto con tiourea. El complejo es amarillo y permite cuantificar bismuto con gran sensibilidad, por su coeficiente de absortividad ( $9,370 \text{ cm}^{-1}\text{M}^{-1}$ ). Se cuantifica por curva de calibración y curva de adición patrón. Ambas curvas presentaron un comportamiento lineal y los contenidos de principio activo por ambas metodologías son semejantes para ambas muestras. Los coeficientes de absortividad calculados experimentalmente por ambas curvas son también similares.

**PALABRAS CLAVE:** Subsalicilato de bismuto, espectrofotometría visible, determinación indirecta.

### ANTECEDENTES

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán fue la primera unidad multidisciplinaria construida fuera de CU. Actualmente la FESC es una institución que con más 40 años de vida académica y de investigación, que ha ido fortaleciéndose con mejoras en los diversos planes de estudios de las 17 carreras que se imparten en ella, para constituirse en la mejor opción educativa de nivel superior al norte de la CDMX.

La Química Analítica es un área que se incluye en los planes de al menos cinco diferentes carreras que se imparten dentro de la FESC en campo 1. Dentro de las asignaturas que se imparten, se estudia la técnica de espectrofotometría visible y continuamente se hacen nuevas propuestas de prácticas experimentales que permitan a los alumnos aplicar los conocimientos ad-

quiridos mediante el análisis de algún componente de una muestra real comercial, de fácil acceso y económica.

Este trabajo se centra en el desarrollo de dos métodos de cuantificación indirecta de subsalicilato de bismuto, mediante la determinación del bismuto presente, en dos formulaciones farmacéuticas (tabletas y suspensión), a partir de su reacción con el ligante, tiourea. El complejo formado es de un color amarillo y se utiliza para cuantificar el bismuto en muestras que contienen este catión metálico; el método tiene gran sensibilidad e incluso supera a la Absorción Atómica. Esto permitirá al alumno explorar diferentes alternativas que le permitan realizar el análisis cuantitativo en muestras comerciales, donde se encuentre presente el catión Bismuto.

## OBJETIVOS

- Cuantificar subsalicilato de bismuto mediante la formación del complejo colorido  $\text{Bi}(\text{Tiourea})_6^{3+}$  mediante curva de calibración y adición patrón, utilizando visible, en dos tipos de formulaciones farmacéuticas comerciales, a fin de comparar con lo reportado en el marbete.
- Contrastar el contenido de principio activo en dos formas farmacéuticas a fin de determinar si cumplen con la normativa establecida para dichos medicamentos y evaluar su calidad para demostrar al alumno la utilidad de dos métodos indirectos de cuantificación.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Soluciones a preparar

- 1 litro de disolución de  $\text{HNO}_3$  1M (disolución ácida).
- Solución de Tiourea al 12% P/V en solución ácida.
- Solución stock:  $[\text{Bi}^{3+}] = 2.3 \times 10^{-4}$  M en disolución ácida.

### Preparación de las muestras.

Los productos farmacéuticos son los medicamentos genéricos Itamol y Siparox.

**Tabletas (ITAMOL).** Determinar el peso promedio por tableta, posteriormente se trituran 3 tabletas en un mortero y pesar de 170 mg de polvo de tableta. La muestra se mezcla con disolución ácida ( $\text{HNO}_3$  1M), calentar y agitar entre 8 y 10 minutos. Por último, filtrar y llevar al enrase de 100 mL con la misma disolución ácida.

**Suspensión (SIPAROX).** Se toman 3 ml del jarabe, colocar la alícuota en un vaso de precipitado, disolver con disolución ácida ( $\text{HNO}_3$  1M), calentar y agitar entre 8 y 10 minutos. Por último, filtrar y llevar al enrase a 100 mL con la misma disolución ácida.

Preparación de la Curva de Calibración de Estándar Externo (CC) y Curva de Adiciones Patrón (CAP). La Tabla 1 muestra los volúmenes necesarios de solución stock, tiourea y problema para la preparación de la curva de calibración.

**Tabla 1.** Preparación de la Curva de Calibración

Sistema	$V_{\text{problema}}$ (mL)	$V_{\text{Stock}}$ (mL)	$V_{\text{Tiourea}}$ (mL)
BLANCO	0	0	4
1	0	0.5	4
2	0	1	4
3	0	2	4
4	0	3	4
5	0	4	4
6	0	5	4
PROBLEMA	4	0	4

La Tabla 2 indica los volúmenes necesarios de solución stock, tiourea y problema para la preparación de una curva de adiciones patrón.

**Tabla 2.** Preparación de Curva de Adición Patrón

Sistema	$V_{\text{problema}}$ (mL)	$V_{\text{Stock}}$ (mL)	$V_{\text{Tiourea}}$ (mL)
BLANCO	0	0	4
1	0.5	0	4
2	0.5	0.5	4
3	0.5	1	4
4	0.5	2	4
5	0.5	3	4
6	0.5	4	4
7	0.5	5	4

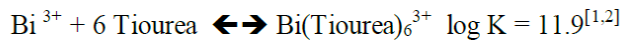
Todos los sistemas de la CC y CAP se preparan en matraces volumétricos de 10 mL y se enrasan con la solución ácida.

Se obtiene el espectro de Absorción del complejo  $\text{Bi}(\text{Tio})_6^{3+}$  entre 400-600 nm con el sistema 6 de la CC, para seleccionar la longitud de onda de máxima absorción, la cual se determina que es de 460nm.

Medir la absorbancia para los sistemas de las curvas, CC y CAP, utilizando el blanco respectivo y a una longitud de onda de 460 nm. Es importante señalar que para el método CAP se construye una curva por cada muestra y/o replica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La reacción de complejos a considerar en este experimento es:



La concentración de Complejo estará relacionada de forma directa con la cantidad de  $\text{Bi}^{3+}$  añadida siempre que esta sea limitante en la reacción y además se añada un exceso de ligante (Tiourea).

Esto permite proponer dos métodos de cuantificación indirectos como son la curva de calibración (CC) y/o de adición patrón (CAP) utilizando la espectrofotometría molecular (VISIBLE) puesto que el complejo  $\text{Bi}(\text{Tiourea})_6^{3+}$  es de color Amarillo [3] y su absorbancia máxima se encuentra en 460 nanómetros. También el exceso de Tiourea permite que la reacción sea más cuantitativa de acuerdo con el principio de Le Chatelier.

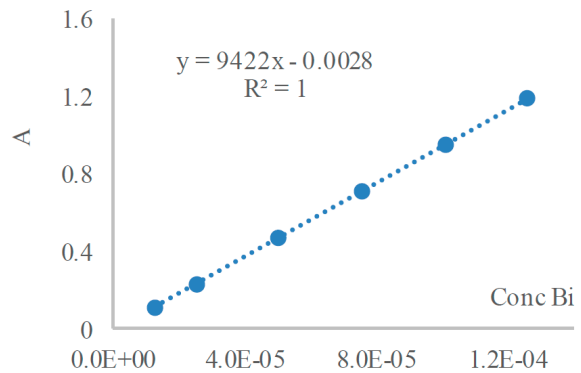
#### Método de Calibración Estándar Externo.

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos para la curva de calibración experimental.

**Tabla 3.** Resultados para la Curva de Calibración

Sistema	Bi (mol/L)	$A^{460}$
1	1.25E-05	0.116
2	2.52E-05	0.237
3	5.05E-05	0.468
4	7.57E-05	0.711
5	1.01E-04	0.948
6	1.26E-04	1.186

En la figura 1 se observa que la gráfica tiene un  $R^2 = 0.99997$  que indica un comportamiento lineal entre la absorbancia y la concentración, lo cual corresponde a la ley de Lambert-Beer para este tipo de sistemas.



**Figura 1.** Curva de calibración:  $A = f[\text{Bi}]$  ( $\lambda = 460 \text{ nm}$ ).

El coeficiente de absorptividad molar para el complejo de  $\text{Bi}(\text{Tio})_6^{3+}$  es igual a la pendiente de la curva, siendo de  $9422 \text{ cm}^{-1} \text{ M}^{-1}$ , el cual es cercano al reportado en la literatura ( $9,370 \text{ cm}^{-1} \text{ M}^{-1}$ ) para dicha longitud de onda (460 nm).

La determinación de las muestras se realiza por medio de una interpolación de la absorbancia experimental en el sistema problema.

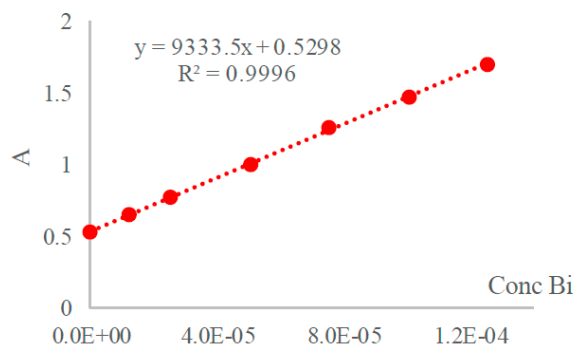
#### Método de Adición Patrón

La tabla 4 presenta los resultados experimentales para la curva de adición patrón empleando ITAMOL como muestra comercial.

**Tabla 4.** Resultados para la Curva de Adición Patrón

Sistema	Bi (mol/L)	$A^{460}$
1	0E+0	0.522
2	1.26E-05	0.654
3	2.52E-05	0.765
4	5.05E-05	0.994
5	7.57E-05	1.250
6	1.01E-04	1.476
7	1.26E-04	1.697

La figura 2 muestra los parámetros estadísticos relacionados, por ejemplo, la gráfica tiene comportamiento lineal ( $R^2 = 0.9996$ ) entre la absorbancia y la concentración, que corresponde a la ley de Lambert-Beer en este tipo de sistemas. El coeficiente de absorptividad molar del  $\text{Bi}(\text{Tio})_6^{3+}$  es de  $9,333.5 \text{ cm}^{-1} \text{ M}^{-1}$ , que es similar al obtenido por CC.



**Figura 2.** Curva de adición patrón:  
A = f [Bi]; ITAMOL tabletas como muestra.

Es importante señalar que para el método CAP se construye una curva por cada muestra y/o réplica. Por lo que la cuantificación por medio del método de Adición Patrón se realiza mediante la pendiente y la ordenada como lo muestra la siguiente ecuación [4].

$$[\text{Bi}^{3+}] = b/m; b = \text{ordenada}, m = \text{pendiente}.$$

Este procedimiento se realiza para cada CAP muestra analizada y nuevamente se deben considerar las diluciones, la masa pesada y el peso promedio de la tableta o al volumen de suspensión.

#### Cuantificación de las muestras.

Se realiza el análisis por triplicado de dos formas farmacéuticas (tabletas y suspensión) que contienen Subsalicilato de Bismuto como principio activo. Se consideran las diluciones, la masa pesada y el peso promedio de la tableta o el volumen de suspensión para calcular la cantidad del principio activo. Los resultados de la cuantificación se muestran en las tablas 5 y 6.

**Tabla 5.** Contenido (mg) de Subsalicilato de Bismuto/tableta

Replicas	Peso (g) muestra	Contenido (mg)	% experimental vs marbete
1CC	0.1724g	242.59	92.59
2CC	0.1738g	229.10	87.44
3CC	0.2011g	226.84	86.58
1CAP	0.1724g	240.44	91.77
2CAP	0.1738g	237.90	90.80
3CAP	0.2011g	226.76	86.54

\*Marbete: 262mg Subsalicilato Bi/tableta (ITAMOL).

**Tabla 6.** Contenido (g) de Subsalicilato de Bismuto/100mL de suspensión

Replicas	Contenido (g)	% (cuantificado vs marbete*)
1CC	1.446	82.62
2CC	1.542	88.11
3CC	1.471	84.06
1CAP	1.326	75.77
2CAP	1.449	82.80
3CAP	1.457	83.25

\*Marbete 1.75g Subsalicilato de Bi/100ml de suspensión (SIPAROX).

Como se observa en las tablas, en ambos métodos de cuantificación los contenidos en las muestras son cercanos a lo declarado en el marbete. Se tienen porcentajes de 86.6-92.1% para las tabletas y de 75.8-88.1% en la suspensión.

Si se considera que en estos medicamentos el porcentaje de principio activo aceptado se encuentra entre 80-120%, todos los medicamentos analizados cumplen con dicho intervalo, excepto la réplica 1CAP, lo cual puede deberse a un inadecuado tratamiento de la muestra.

La Tabla 7 contiene un resumen del contenido promedio ( $X_{\text{promedio}}$ ), la desviación estándar (S), el coeficiente de variación (CV) y % cuant/marbete para la curva de calibración y adiciones patrón, tanto para las tabletas como la suspensión.

**Tabla 7.** Resumen de cuantificaciones

Tabletas	$X_{\text{promedio}}$	S	C.V	% en relación al marbete
CC	232.84	8.52	3.66	88.87
CAP	235.03	7.29	3.10	89.70
Suspensión	$X_{\text{promedio}}$	S	C.V	% en relación al marbete
CC	1.486	0.050	3.35	84.93
CAP	1.411	0.073	5.21	80.61

En general el coeficiente de variación es más alto para la suspensión en comparación con las tabletas.

Por último, cabe mencionar que la determinación indirecta de subsalicilato de bismuto mediante la formación del complejo  $\text{Bi}(\text{Tio})_6^{3+}$  y la espectrofotometría visible, agiliza y reduce los costos en comparación a otras técnicas de análisis.

## CONCLUSIONES.

- Se cuantificó subsalicilato de bismuto en dos formas farmacéuticas diferentes (tabletas y suspensión) sin detectarse interferencias espectrales.
- El uso de la tiourea permite la formación de un complejo  $\text{Bi}(\text{Tio})_6^{3+}$  de color amarillo capaz de absorber a 460 nm y con un coeficiente de absorptividad promedio de  $9370.3 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  el cual permite tener un método simple y sensible.
- Los contenidos de principio activo por curva de calibración y adiciones patrón son semejantes y los porcentajes respecto al marbete son superiores del 80%.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la FESC por el apoyo al proyecto PI-API 2028.

## REFERENCIAS

- [1] Dean, John A. (1992). Lange's Handbook of Chemistry. USA: McGraw-Hill.
- [2] Ringbom A. (1979). Formación de Complejos en Química Analítica. Madrid, España: Alhambra
- [3] Sandell E. B. (1950). Colorimetric determination of traces of metals. New York, USA: Interscience Publishers, Inc.
- [4] Day R.A., Underwood A.L. (1995). Química Analítica Cuantitativa. USA: Prentice Hall.

## SUSTITUCIÓN DE POTENCIÓMETRO POR MULTÍMETRO Y ELECTRODO CONVENCIONAL POR MICROELECTRODO ALTERNATIVO EN VALORACIÓN POTENCIOMÉTRICA DE HALOGENUROS

José de Jesús Pérez Saavedra, Arturo Vargas Estrada  
FES Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México  
[arturo.vargas311@gmail.com](mailto:arturo.vargas311@gmail.com), [quimicaa@unam.mx](mailto:quimicaa@unam.mx)

### RESUMEN

El trabajo experimental tiene como objetivo la reducción de costos en valoraciones potenciométricas de halogenuros [I<sup>-</sup>] y [Cl<sup>-</sup>] con [Ag<sup>+</sup>] logrando sustituir el potenciómetro por un multímetro convencional; además de esto, el electrodo convencional de plata y electrodo de referencia para leer la diferencia de potencial se va a sustituir con un microelectrodo alternativo Ag/AgCl con la finalidad de poder llevar el sistema a micro escala (hasta 0.2 mL volumen de alícuota) y tener un ahorro en la utilización de reactivos así como de reducción de residuos. De manera experimental encontramos que la medición de diferencia de potencial obtenida del potenciómetro a través del electrodo convencional tiene una gran aproximación a la dada por el multímetro conectado al microelectrodo alternativo Ag/AgCl, con lo cual se calcula un volumen de punto de equivalencia bastante similar.

**PALABRAS CLAVE:** *Halogenuros, electrodos, Potenciómetro, Multímetro*

### ANTECEDENTES

Las asignaturas de Química Analítica para los alumnos de la carrera de Ingeniería Química tienen como aspecto principal enseñar métodos y técnicas de separación, identificación y cuantificación de los componentes de una mezcla. La mayoría de estos métodos requieren de altos costos de realización debido al equipo sofisticado que se necesita y al uso de reactivo analítico en las prácticas que se realizan día a día.

Además, el uso constante del equipo hace que éste se vaya deteriorando a través del tiempo y pierda funcionalidad afectando seriamente el resultado de las prácticas experimentales, siendo muy difícil sustituirlos debido al costo que representan.

Las Valoraciones de halogenuros tienen una gran importancia en esta área y requieren del uso equi-

po costoso para poder llevarse a cabo por lo que en la sección de Química Analítica de FES – Cuautitlán se desarrollan proyectos de investigación los cuales ayudan a reducir costos y trabajar de una manera más sustentable con la creación de microelectrodos alternativos que tienen la capacidad de hacer Valoraciones de halogenuros, con una precisión similar al de uno comercial y permiten trabajar con volúmenes de hasta 0.2 mL, logrando así reducir el consumo de reactivos y por consiguiente reducir la generación de residuos. La segunda parte del trabajo consiste en acoplar el microelectrodo alternativo a un multímetro convencional que nos de lectura de la diferencia de potencial en la valoración de una manera similar a un potenciómetro para así reducir aún más el costo de realización de las prácticas.

## OBJETIVOS

Desarrollo de alternativas sustentables en las prácticas de laboratorio en la sección de Química Analítica. Favorecer a la institución con la reducción de costos de operación de los laboratorios en la sección de Química Analítica.

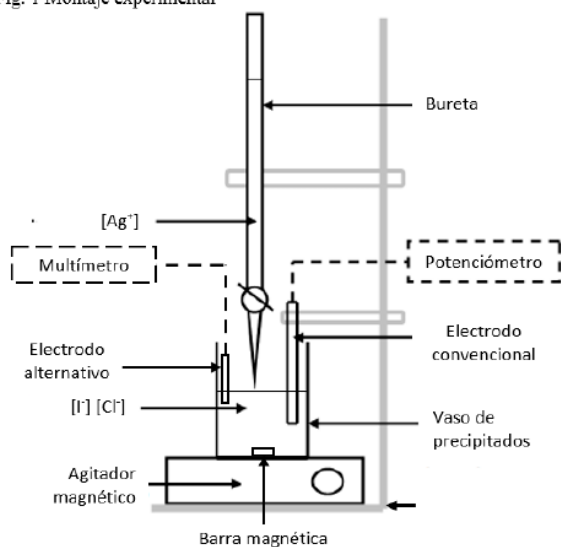
### Parte experimental

Material	Equipo	Reactivos
Vasos de pp 50 mL	Agitador Magnético	AgNO <sub>3</sub>
Puente de Agar	Multímetro	NaCl
Caimanes	Potenciómetro	KI
Vasos Tequileros	Electrodo de plata y electrodo de ref.	KNO <sub>3</sub>
Piseta con Agua destilada	Microelectrodo alternativo (Ag/AgCl)	
Matraz aforado 100 mL		
Bureta 10 mL		
Soporte Universal		
Pinzas de nuez		
Espátula		
Barra Magnética		
Atrapa barras		
Pipeta 5 mL		
Propipeta		

### Diseño experimental

1. Preparar 100 mL de una solución de [Ag<sup>+</sup>] 3x10<sup>-2</sup> M.
2. Preparar 100 mL de una solución de [I<sup>-</sup>][Cl<sup>-</sup>] 1x10<sup>-2</sup>M.
3. Realizar el montaje experimental (Fig.1)

Fig. 1 Montaje experimental



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Cálculos estequiométricos para preparación de soluciones

AgNO<sub>3</sub>

PM = 169.88 g/mol

V = 100 ml

%P = 99.8

$$\left(\frac{0.03 \text{ mol}}{1 \text{ L}}\right) \left(\frac{169.88 \text{ g}}{1 \text{ mol}}\right) \left(\frac{100 \text{ g R.A.}}{99.8 \text{ g R.P.}}\right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}\right) \left(\frac{100 \text{ mL}}{1}\right) = 0.5106 \text{ g de AgNO}_3$$

KI

PM = 166 g/mol

V = 100 ml

%P = 99.7

$$\left(\frac{0.01 \text{ mol}}{1 \text{ L}}\right) \left(\frac{166 \text{ g}}{1 \text{ mol}}\right) \left(\frac{100 \text{ g R.A.}}{99.7 \text{ g R.P.}}\right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}\right) \left(\frac{100 \text{ mL}}{1}\right) = 0.166 \text{ g de KI}$$

NaCl

PM = 58.45 g/mol

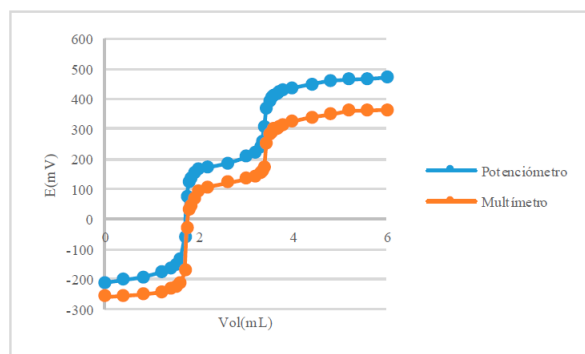
V = 100 ml

%P = 99.5

$$\left(\frac{0.01 \text{ mol}}{1 \text{ L}}\right) \left(\frac{58.45 \text{ g}}{1 \text{ mol}}\right) \left(\frac{100 \text{ g R.A.}}{99.5 \text{ g R.P.}}\right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}\right) \left(\frac{100 \text{ mL}}{1}\right) = 0.0587 \text{ g de NaCl}$$

- Gráfica de volumen vs potencial

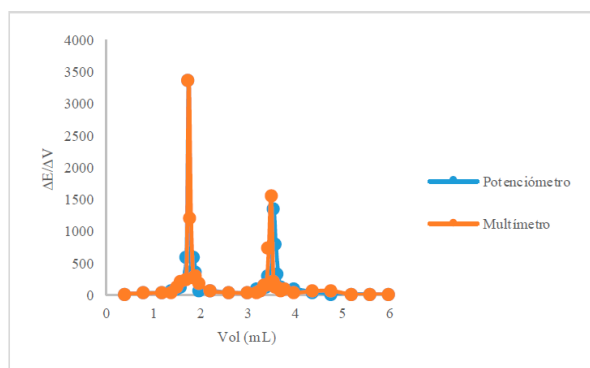
En la valoración de [I<sup>-</sup>][Cl<sup>-</sup>] 1x10<sup>-2</sup> M con [Ag<sup>+</sup>] 3x10<sup>-2</sup> M mediante el electrodo convencional conectado al potenciómetro, en simultáneo con la lectura del microelectrodo alternativo Ag/AgCl conectado al multímetro, obtenemos la sig. gráfica:



Donde se puede observar una ligera desviación en la lectura del potencial (mV) comparando ambas gráficas, pero dan el mismo VPE<sub>1</sub> y VPE<sub>2</sub> en esta muestra.

- Determinación de Volumen de Punto de Equivalencia (VPE<sub>1</sub> y VPE<sub>2</sub>)

Se utiliza el método de primera derivada para determinar el VPE<sub>1</sub> y VPE<sub>2</sub> de la valoración.



	Potenciómetro	Multímetro
VPE <sub>1</sub> promedio (mL)	1.73	1.73
VPE <sub>2</sub> promedio (mL)	3.44	3.42

El porcentaje de error para VPE<sub>1</sub> es de 0% y para VPE<sub>2</sub>:

$$e = \frac{3.44 - 3.42}{3.44} \times 100 = 0.58\%$$

Con lo cual podemos decir que los resultados para la determinación de VPE<sub>1</sub> y VPE<sub>2</sub> con la lectura proporcionada por el multímetro conectado al microelectrodo alternativo son tan aproximados a los valores obtenidos con el método convencional, que hacen viable llevar a cabo la sustitución.

## CONCLUSIONES

Si se quiere sustituir el sistema convencional por el microelectrodo alternativo Ag/AgCl conectado a multímetro, se tiene que tener en cuenta que el tiempo de respuesta del equipo es más lento e inestable, además de ser un sistema más propenso a fallas experimentales por lo que se deben extremar precauciones para obtener los resultados deseados.

Debido a la funcionalidad del microelectrodo alternativo Ag/AgCl acoplado al multímetro se puede concluir que es una gran aportación a la sección de Química Analítica si se logra implementar como alternativa al sistema convencional (electrodo convencional conectado a potenciómetro) en las prácticas de valoración de halogenuros con plata en los laboratorios.

La utilización de microelectrodos producidos por alumnos, fomenta la investigación y el interés en el principio de funcionamiento de los instrumentos y equipos de laboratorio para de esta forma poderlos reproducir nosotros mismos, lo que se traduce en un ahorro para la escuela. Aunado a esto el ahorro en reactivos al hacer microvaloraciones es muy significativo al igual que la reducción en la generación de residuos.

Además que el precio promedio de un potenciómetro es de \$15,000.00 MXN y reemplazarlo por un multímetro que llega a los \$1,000.00 MXN máximo significa un ahorro del 93.3% del gasto en un equipo para esta función en específico.

El desarrollo sustentable es un tema de mucho auge hoy en día ya que debido a la contaminación de agua, aire y suelo es necesario que los futuros profesionistas tengan un fuerte compromiso con alternativas que reduzcan el impacto ambiental.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento: al Sr Drauci Jiménez Celi por la elaboración del material de vidrio.



## REFERENCIAS

Harris D. (2007). Análisis Químico Cuantitativo. Barcelona, España: Reverte.

Skoog D., West D., & Holler F. (1997) Fundamentos de Química Analítica. Barcelona, España: Reverte.

Pérez J. & Armenta F. (2013). Potenciometría con Volúmenes a Nivel de Microescala en Educación. México: Educación Química.

## APLICACIÓN DE TÉCNICAS QUIMIOMÉTRICAS SUPERVISADAS (CURVAS Y FUNCIONES DE POTENCIA) A PARTIR DE DATOS DE FT-MIR PARA LA AUTENTIFICACIÓN DE TEQUILAS

Ileana Jiménez Rabadán<sup>1</sup>, Guadalupe Pérez Caballero<sup>1\*</sup>, José Manuel Andrade Garda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 4. Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Físicoquímica Analítica y Especiación Química, Unidad de Investigación Multidisciplinaria. Cuautitlán Izcalli, 54700, Estado de México

<sup>2</sup>Universidad de Coruña, Grupo de Química Analítica Aplicada (QANAP), Campus da Zapateira s/n, 15071, A Coruña, España.

perezcg@unam.mx, andrade@udc.es

### RESUMEN

El presente trabajo describe dos modelos quimiométricos supervisados con el objetivo de identificar muestras que no cumplan con las características usuales de un tequila. Para ello, se emplearon 211 muestras de calibración y 18 de validación. Ambos modelos resultaron acertados ya que todas las muestras de validación fueron predichas sin error, lo cual permite aseverar que se trata de modelos exactos y precisos. Lo cual, es corroborado mediante los parámetros de desempeño obtenidos para cada conjunto en ambas técnicas que fueron iguales a la unidad.

**PALABRAS CLAVE:** Tequila, FT-MIR, Quimiometría, Técnicas Supervisadas, Curvas de Potencia, Funciones de Potencia

### ANTECEDENTES

El tequila es una bebida mexicana producida a partir de Agave Tequilana weber variedad Azul, en las regiones especificadas por su denominación de origen.

Con base en la NOM-006-SCFI-2005 [1], es posible distinguir cinco clases de tequila según las características adquiridas a posteriori de la doble destilación del mosto (jugo de fermentación), estas son:

- 1) Blanco (TB): Sin reposo.
- 2) Joven (TJ): Maduración menor de 2 meses.
- 3) Reposado (TR): Reposo entre 2-12 meses.
- 4) Añejo (TA): Maduración mayor a un año y menor a tres.
- 5) Extra Añejo (TEA): Reposo de más de tres años.

Las técnicas quimiométricas de clasificación multivariable tienen la finalidad de encontrar modelos matemáticos capaces de reconocer la pertenencia de una muestra a una clase con base en un conjunto de mediciones [2], en este caso espectros Infrarrojo Medio con Transformada de Fourier (FT-IR).

Una técnica supervisada es aquella en la que se emplea la información de un grupo de muestras para desarrollar un modelo y, posteriormente, validarlo [3].

A grosso modo, la técnica Curvas de Potencia (PC, por sus siglas en inglés) aplica el Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) con fines predictivos [4]. Cada clase queda asignada a una región del subespacio, generalmente PC1-PC2, aunque no necesariamente; que comprende varias elipses de

iso-probabilidad (una elipse por grupo) construidas con los datos de calibración y cuyas coordenadas se utilizan para proceder con el proceso de clasificación mediante el cálculo de una función de Gauss bivariada [4]. Este algoritmo obtiene un modelo clasificatorio considerando las muestras de calibración o training, así como los conjuntos definidos a partir de ellas, para, como acto seguido, clasificar las muestras desconocidas (de validación o test) [4]. En esta segunda etapa, emplea los valores de los scores obtenidos para asignar las muestras de validación a sus respectivos grupos [4]. Por otro lado, la técnica Funciones de Potencia (PF, por sus siglas en inglés) implica cálculos un tanto más complejos, sin embargo, la metodología es la misma con respecto a PC.

De acuerdo con Coomans et.al. [2], el algoritmo atiende individualmente las muestras del conjunto de entrenamiento como un punto en el espacio alrededor del cual existe un campo potencial que va disminuyendo en función de la distancia de la muestra. La clasificación de las muestras de validación viene dada por el potencial acumulado de la clase y toma en cuenta la posición de la muestra, asignándose ésta a la clase que dé lugar al mayor valor de potencial acumulativo [2].

La técnica de PC establece varias simplificaciones con respecto a la de PF:

- 1) considera que las clases de muestras no solapan en el subespacio bajo estudio (habitualmente PC1-PC2),
- 2) la distribución de las muestras en cada clase se considera homogénea,
- 3) no se considera una función de potencia alrededor de cada muestra, sino que se define una función gaussiana bivariada a partir de la localización de todas las muestras de cada clase.

Por lo que, como consecuencia de lo anterior, la forma de las curvas de potencia es sencilla y elíptica.

## OBJETIVOS

Construir modelos de clasificación supervisada, como son Curvas de Potencia (PC) y Funciones de Potencia (PF), que resulten óptimos para la determinación de muestras que no cumplan con las características usuales de un tequila de acuerdo con su clase.

Realizar una comparación entre ambas técnicas desde un punto de vista aplicado.

## PRUEBA EMPÍRICA

### Muestras


















Tequilas Certificados por el Consejo Regulador del Tequila (CRT): 229 en total (72 blancos, 29 jóvenes, 72 reposados, 37 añejos y 19 extra añejos).

Con la finalidad de identificar fácilmente estas muestras, se les asignaron las abreviaciones TB-blancos, TJ-jóvenes, TR-reposados, TA-añejos y TEA-extra añejos. Además, los tequilas añejos y extra añejos se consideraron parte de un solo grupo denominado 'añejos' (TA).

Se emplearon 211 muestras como tequilas de calibración (68 TB, 26 TJ, 67 TR y 50 TA) y 18 como muestras de validación (4 TB, 3 TJ, 5 TR y 6 TA (5 TA y 1 TEA)).

Las muestras de calibración y validación se identificaron con el color y figura descritas en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Simbología de los tequilas

	Calibración		Validación	
	PC	PF	PC	PF
TB			 TB 8642	
TJ			 TJ 2630	
TR			 TR 6932	
TA			 TA 8641	
TEA			 TEA 2493	

### Equipo

Espectrofotómetro Perkin Elmer, modelo FT-IR/NIR Frontier con detector ATR de diamante de una reflexión marca Smiths DuraSamplIR II.

### Equipo y reactivos

Etanol absoluto  
 Micropipeta de 50µL  
 Puntas para micropipeta  
 Vaso de precipitados para residuos

### Software

Spectrum© (Perkin Elmer, Waltham, MA, U.S.A.)  
 GenEx© (MultiDAnalysis AB, Göteborg, Sweden).  
 Matlab© (The MathWorks, Massachusetts, E.U.A.)  
 con la herramienta Classification Toolbox (v.3.1) [5].

## Metodología

1. Medir las muestras en el intervalo de frecuencia de 4000–450  $\text{cm}^{-1}$  en valores de %T realizando un barrido “blanco” entre cada muestra (después de limpiar con un poco de etanol absoluto y dejando volatilizarse).

2. Transformar espectros a valores de absorbancia y llevar a cabo la corrección de ATR.

3. Realizar Corrección Interactiva de la Línea Base (CILB) empleando los siguientes puntos y de acuerdo con la clase del tequila en el software Spectrum©.

TB: 450, 958, 1173, 1878, 2590, 3895 y 4000 $\text{cm}^{-1}$ .

TJ: 450, 952, 1172, 1872, 3885 y 4000 $\text{cm}^{-1}$ .

TR: 450, 957, 1868, 1950, 2587, 3908 y 4000 $\text{cm}^{-1}$ .

TA: 450, 950, 1851, 3913 y 4000 $\text{cm}^{-1}$ .

TEA: 450, 958, 970, 974, 1861 y 4000 $\text{cm}^{-1}$ .

4. Elaborar la matriz de datos en Excel colocando los nombres de los tequilas al avanzar por las filas y los valores de número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) y absorbancia por tequila, al avanzar por las columnas.

5. Ajustar a cero los valores de absorbancia de todos los tequilas en 4000 y 450  $\text{cm}^{-1}$ .

6. Con ayuda del programa GenEx©, rescatar los datos en autoescalado por columnas.

7. Obtener el modelo matemático PC en el intervalo 3000-1100 $\text{cm}^{-1}$  en el software GenEx©.

8. Obtener el modelo matemático PF en el intervalo 3000-1100 $\text{cm}^{-1}$  en el software Matlab©.

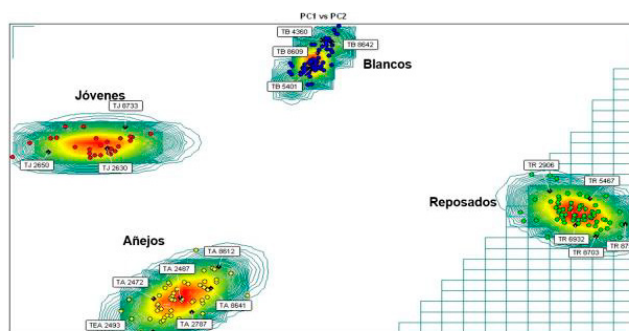
9. Analizar e interpretar resultados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Curvas de Potencia (PC)

Esta técnica, ofrece dos resultados relativamente fáciles de interpretar: un gráfico de las clases de muestras en el subespacio PC1-PC2 y una tabla con probabilidades de pertenencia de las muestras a cada clase. El gráfico se conforma por elipses de iso-probabilidad, cuyo número y grosor se puede variar para facilitar la visualización de los resultados. La tabla permite decidir a qué grupo se atribuye cada muestra en función de la mayor probabilidad (%P) de pertenencia.

A continuación, se muestra el espacio PC1-PC2 con las elipses obtenidas, así como la tabla de porcentaje de probabilidad para las muestras de validación.



**Figura 1.** Elipses de iso-probabilidad para Curvas de Potencia en el subespacio PC1-PC2.

Si observamos la figura 1, es posible aseverar que las muestras fueron asignadas correctamente a su clase certificada por el CRT, dado que todas ellas se encuentran dentro de sus respectivas elipses.

**Tabla 2.** Scores y probabilidad (%) de las muestras test.

	PC1	PC2	Blancos	Jóvenes	Reposados	Añejos
TB 4360	-2.639554021	36.893597700	18.00	0.00	0.00	0.00
TB 5401	-4.456226723	29.059492968	80.42	0.00	0.00	0.00
TB 8609	-3.274831251	33.514440573	76.33	0.00	0.00	0.00
TB 8642	-6.747574333	36.277603982	29.73	0.00	0.00	0.00
TJ 2630	-37.81887257	7.7958783732	0.00	86.53	0.00	0.00
TJ 2650	-47.32344856	6.8029152613	0.00	27.71	0.00	0.00
TJ 8733	-34.71751949	13.485634381	0.00	9.82	0.00	0.00
TR 2906	34.806580712	-3.774608466	0.00	0.00	20.11	0.00
TR 5467	41.343794783	-5.764349826	0.00	0.00	28.08	0.00
TR 6932	39.047125300	-12.97110243	0.00	0.00	55.17	0.00
TR 8703	42.293082492	-16.01481506	0.00	0.00	17.76	0.00
TR 8758	47.193126391	-12.67712768	0.00	0.00	12.17	0.00
TA 2472	-30.10313196	-32.88893412	0.00	0.00	0.00	44.97
TA 2487	-25.76690406	-32.47528268	0.00	0.00	0.00	99.76
TA 2787	-23.86567089	-36.38174064	0.00	0.00	0.00	35.52
TA 8612	-19.44053319	-24.22208818	0.00	0.00	0.00	16.41
TA 8641	-20.70969312	-29.95069415	0.00	0.00	0.00	52.52
TEA 2493	-30.25650943	-41.72650720	0.00	0.00	0.00	11.48

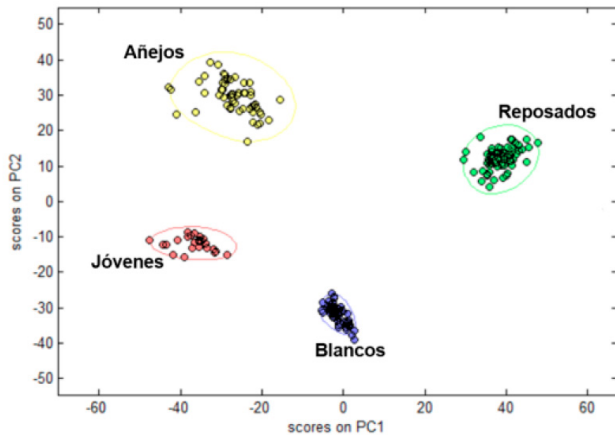
En cuanto a los valores de probabilidad de las muestras de validación, se observó que las más bajas fueron para los tequilas TR 8758 (12.17%), TEA 2493 (11.48%) y TJ 8733 (9.82%), sin embargo, se consideran bien clasificados puesto que tienen el 0% de probabilidad de pertenecer a otras clases.

Teniendo en cuenta que el alejamiento de una muestra del núcleo principal de su clase puede ser función de las características adquiridas durante la maduración; es decir, de si el tequila sufrió un proceso de abocamiento o no; o, incluso, de su porcentaje de contenido alcohólico, parece razonable aceptar una cierta variabilidad en cada clase.

### Funciones de Potencia (PF)

En la siguiente figura podemos observar la distribución de las muestras de calibración en el espacio PC1-PC2, siendo las líneas sólidas (en color azul, rojo, verde y amarillo) los límites de clase que propone el algoritmo.

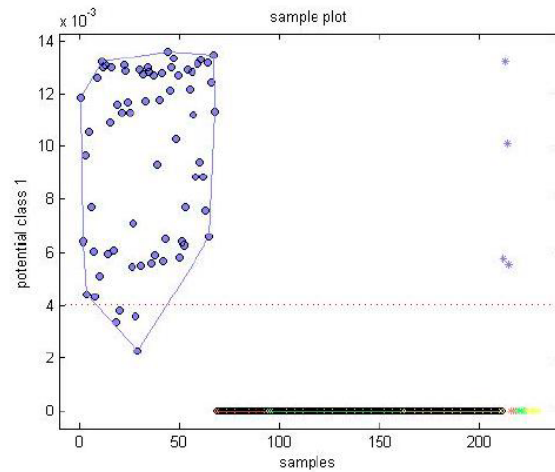
A diferencia de la técnica PC, Funciones de Potencia no ofrece una tabla con %P de pertenencia a su clase.



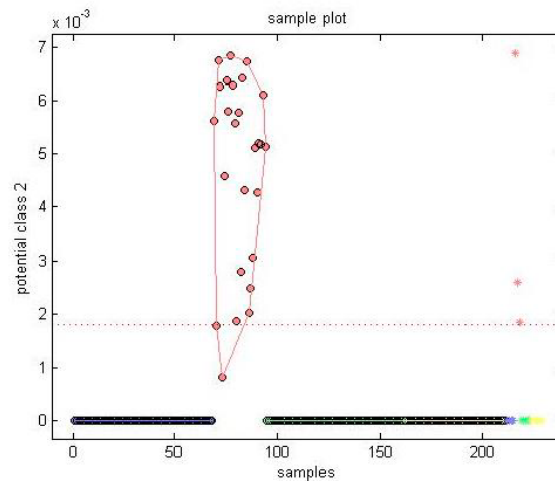
**Figura 2.** Diagrama de scores en el espacio PC1-PC2 con límites de clase para Funciones de Potencia.

Los modelos aquí presentados se elaboraron a partir de datos auto-escalados, con un kernel tipo gaussiano, percentil del 95% (medida no paramétrica que indica el % de muestras que se considera perteneciente a la clase en estudio [6]), validación cruzada (modalidad de "persianas venecianas") en grupos de 10 y factores de suavizado en torno a la unidad: TB= 1.0, TJ= 1.0, TR= 1.2 y TA= 1.2, lo que condujo a excelentes resultados. Cabe destacar que en el desarrollo de PF se encontraron mejores resultados al modelar cada clase frente al resto de muestras (aproximación one-vs-all) que al modelar todas las clases simultáneamente (como se hace en curvas de potencia).

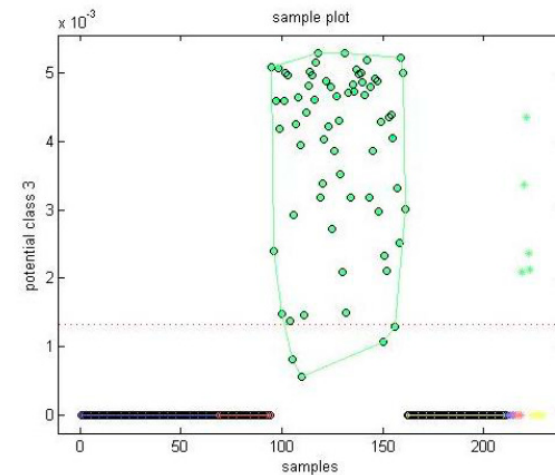
A continuación, se muestran los esquemas de las funciones de potencia de cada clase.



**Figura 3.** Aproximación one-vs-all en PF para Tequilas Blancos (TB)



**Figura 4.** Aproximación one-vs-all en PF para Tequilas Jóvenes (TJ)



**Figura 5.** Aproximación one-vs-all en PF para Tequilas Reposados (TR)

Para la interpretación de las figuras 3-6, es necesario mencionar que la línea punteada trazada paralelamente al eje de las abscisas es el límite de pertenencia establecido por el algoritmo (percentil 95). Dicho lo cual, toda muestra de validación (señalada con un asterisco), que esté por arriba de dicha línea, pertenece a la clase.

Sólo en el grupo de los tequilas jóvenes (figura 4) existe una muestra que está muy cerca del límite, sin embargo, todavía pertenece a su clase.

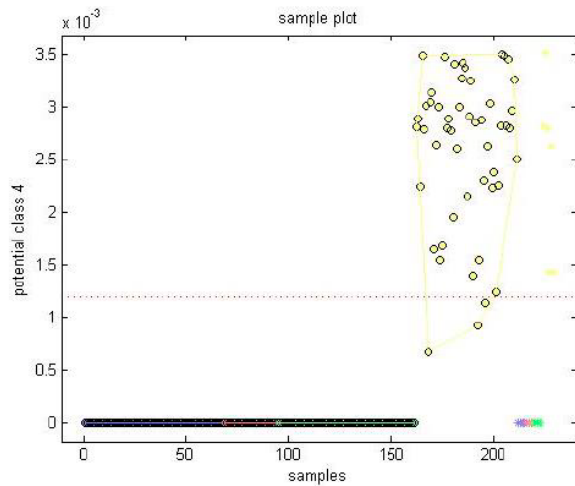


Figura 6. Aproximación one-vs-all en PF para Tequilas Añejos (TA)

Esto hace posible la aserción de que todas las muestras fueron correctamente asignadas.

Tabla 3. Parámetros de desempeño para PF (datos auto-escalados, cross-validation por persianas venecianas)

	Calibración			Validación		
	Error Rate	Non-error rate	Accuracy	Error Rate	Non-error rate	Accuracy
	0.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00
Clase	Especificidad	Sensibilidad	Precisión	Especificidad	Sensibilidad	Precisión
1 - Blancos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2 - Jóvenes	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
3 - Reposados	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4 - Añejos	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Es preciso señalar que el software empleado para desarrollar la técnica funciones de potencia, calcula los parámetros de desempeño del modelo, tales como precisión, especificidad y sensibilidad, además de los valores de error global: error rate, non-error rate y exactitud.

	#Blancos	#Jóvenes	#Reposados	#Añejos	No Asignados
1	4	0	0	0	0
2	0	3	0	0	0
3	0	0	5	0	0
4	0	0	0	6	0
Muestras Predichas en la Clase	4	3	5	6	
Muestras Correctamente Predichas en la Clase	4	3	5	6	
Muestras Propuestas en la Clase	4	3	5	6	
Muestras Propuestas Fuera de la Clase	14	15	13	12	
Muestras Correctamente Predichas Fuera de la Clase	14	15	13	12	

Figura 7. Matriz de confusión para cálculo de parámetros de desempeño de Curvas de Potencia

No obstante, es posible obtener estos parámetros para curvas de potencia mediante las fórmulas existentes para cada uno y los resultados arrojados en el modelo (matriz de confusión).

En la figura 7, se muestran los datos necesarios para el cálculo de los parámetros de desempeño del modelo Curvas de Potencia. Las ecuaciones por aplicar son las enlistadas a continuación (tabla 4).

Fórmula	Parámetro con definición
$Pr_g = \frac{n_{gg}}{n'_g}$	Precisión o Eficiencia Muestras correctamente predichas en la clase entre muestras predichas en la clase.
$Sn_g = \frac{n_{gg}}{n_g}$	Sensibilidad Muestras correctamente predichas de la clase entre muestras propuestas en la clase.
$Sp_g = \frac{\sum_{k \neq g} (n'_k - n_{kg})}{n - n_g}$ for $k \neq g$	Especificidad Muestras correctamente predichas fuera de la clase entre muestras propuestas fuera de clase.
$AC = \frac{\sum_{g=1}^G n_{gg}}{n}$	Exactitud Muestras correctamente predichas en la clase entre muestras totales propuestas en la clase.

Tabla 4. Ecuaciones de los parámetros de desempeño

Clase	Especificidad	Sensibilidad	Precisión	Exactitud (Accuracy)
1 - Blancos	1.00	1.00	1.00	1.00
2 - Jóvenes	1.00	1.00	1.00	
3 - Reposados	1.00	1.00	1.00	
4 - Añejos	1.00	1.00	1.00	

Tabla 5. Parámetros de desempeño para PC

En las tablas 3 y 5 se ubican los parámetros de desempeño obtenidos para cada conjunto en cada modelo, los cuales son siempre iguales a la unidad, lo cual permite sostener que se construyeron modelos fiables.

## CONCLUSIONES

En síntesis, es factible aseverar que se construyeron modelos de PC y PF exactos y precisos considerando que todas las muestras fueron asignadas sin error a su clase certificada por el CRT. Como consecuencia, los parámetros de desempeño fueron iguales a la unidad en ambos casos, dejándonos notar que se trata de modelos fiables en la autenticación de muestras.

Al realizar una comparación entre las técnicas aquí desarrolladas, se concluye que ambas son óptimas para el destino mencionado.

## AGRADECIMIENTOS

Al 'Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT)-UNAM' (Clave. IT200918) por el apoyo para realizar el presente trabajo.

Al Consejo Regulador del Tequila por el suministro de las muestras de tequila, lo cual hizo posible la realización del presente trabajo.

El Grupo QANAP (Química Analítica Aplicada) agradece a la Xunta de Galicia la Financiación como Grupo de Referencia Competitivo (Ref: . ED431C 2017/28).

## REFERENCIAS

- [1] NOM-006-SCFI-2005 (2005) Diario Oficial de la Federación. Consejo Regulador del Tequila. Recuperado de: <https://www.crt.org.mx/images/Documentos/NOM-006-SCFI-2005.pdf>
- [2] Todeschini R. (2018) Classification Toolbox for Matlab versión 4.2. Milano Chemometrics and QSAR Research Group. Recuperado de: [http://michem.disat.unimib.it/chm/download/software/help\\_classification/index.htm](http://michem.disat.unimib.it/chm/download/software/help_classification/index.htm)
- [3] Sancho-Caparrini F. (2018) Clasificación supervisada y no supervisada. Recuperado de: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=77>
- [4] GenEx Enterprise. (2018) Potential Curves. Multid Analysis. Recuperado de: <https://www.multid.se/genex/onlinehelp/hs510.htm>
- [5] Ballabio D., Consonni V.. (2013) Classification tools in chemistry. Part 1: Linear Models. PLS-DA. Analytical Methods, 5, 3790-3798.

## EFFECTO DEL ENCALADO EN JALES MINEROS

Elizabeth Cruz Ruiz<sup>1,2</sup>, Arturo Aguirre Gómez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Análisis e investigación de Química Agrícola Ambiental, FESC, Campo. 4. Apdo. Postal 54700 (52)-(55)-56231999-(ext-39435).

<sup>2</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria.

[ecrunam@gmail.com](mailto:ecrunam@gmail.com), [aag@unam.mx](mailto:aag@unam.mx)

### RESUMEN

México al ser un país con abundantes recursos minerales, ha marcado una tradición minera, entre los principales yacimientos que se han explotado destacan los establecidos en Taxco, Pachuca, Zacatecas, Santa Bárbara, Charcas, La Paz y Zimapán. El distrito minero de Zimapán genera cantidades considerables de residuos durante el proceso de obtención de metales depositándose en las denominadas "presas de jales". El objetivo de este trabajo fue generar una propuesta de fito-remediación aplicable a jales ácidos provenientes de las presas "El Monte" y "Carrizal", localizadas en el municipio de Zimapán, Estado de Hidalgo. Se realizó la caracterización de los sustratos: jal y suelo, la evaluación de la necesidad de cal y de la cinética del proceso de encalado, así como la relación-balance entre la acidez potencial y el potencial de neutralización.

**PALABRAS CLAVE:** Jales, encalado, acidez.

### ANTECEDENTES

La actividad minera presenta efectos nocivos sobre el medio ambiente debido a la deposición "no controlada" de los residuos resultantes de la extracción mineral llamadas "presas de jales" o minas abandonadas. Dichos residuos representan un alto potencial de toxicidad para los organismos vivos, el deterioro de la fertilidad, y la pérdida del valor económico, de los suelos, aunado a su posible e inminente filtración hacia los mantos acuíferos cercanos a las zonas de explotación minera.

Un caso en específico es el distrito minero de Zimapán ubicado en el Estado de Hidalgo, México, el cual genera grandes cantidades de residuos tipo skarn Zn, Pb, Ag-(Cu), en los distritos mineros "El Carrizal" y "El Monte"[1]. Algunos trabajos de remediación en la zona de Zimapán han evaluado el drenaje ácido de los residuos y rocas. Por esta razón, y

con fines de fito-remediación, se propuso la adición de cal, cuyo objetivo es, abatir las actividades químicas de las especies potencialmente fito-tóxicas [2,3]. Por lo anterior es importante realizar investigación científica orientada a garantizar el éxito del proceso "remediación-fitoestabilización", por lo que, por un lado; el proceso de agro-remediación del sitio debe no solo abatir la fracción fito-tóxica de los metales, sino generar condiciones fito-estables para generar una cobertura vegetal a usar en el proceso de remediación; y por el otro lado, la fito-remediación, que conlleva al uso de plantas tolerantes e hiperacumuladoras de metales.

### OBJETIVO

Realizar estudios de evaluación de la necesidad de cal y de la cinética del proceso de encalado, para una efectiva neutralización de la acidez activa presente en los jales bajo estudio.



## METODOLOGÍA

- Sustratos

**Jales:** Las muestras de jal fueron colectadas de las presas número 5 y 9 de los depósitos de las minas "El Monte" y "Carrizal".

**Suelo:** Las muestras de suelo prístino clasificado como Luvisol háplico-ródico.

- Enmienda: Cal-apagada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).
- Caracterización de sustratos de trabajo

**Suelo:** El suelo fue caracterizado física y químicamente con base en la metodología contenida en las normas NOM-021-RECNAT-2008 [4].

**Jales.** pH, Conductividad eléctrica (CE), Potencial de neutralización (PN), Potencial de acidez (PA), materia orgánica, Demanda Química de Oxígeno (DQO).

- Evaluación de la necesidad de cal y cinética del proceso de encalado.

Para cada dosis se emplearon 15 frascos-reactores de polietileno con rosca (50 mL), los cuales contenían 10 g de jal, cantidades incrementantes de cal, y un volumen total de 30 mL, completado con agua desionizada; se agitaron los reactores por 15 minutos, se dejaron reposar 15 minutos, para posteriormente medir el pH inicial (pHo), y dar comienzo a la evaluación de la cinética de neutralización. Consecutivamente se tomaron lecturas de pH cada tercer día durante la primera semana y entonces cada semana hasta constancia de las lecturas de pH.

- Encalado del jal.

Una vez determinada la cantidad de cal requerida para neutralizar el jal, se prosiguió a su aplicación a todo el material-sustrato de trabajo de la siguiente manera: se mezclaron físicamente el jal y la cal, posteriormente se agregaron 20 L de agua destilada obteniéndose una masa en suspensión, esto con la finalidad de lograr una neutralización efectiva en el corto plazo basado en la cinética de encalado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla 1.** Caracterización de las propiedades químicas del suelo y jal

SUELO	
pH $\text{H}_2\text{O}$ (1:2)	7.1
CE $\mu\text{S cm}^{-1}$ (1:2)	128
CIC ( $\text{cmol}(-) \text{kg}^{-1}$ )	79.1
% (p/p) MO	1.6
JAL	
Densidad aparente $\text{g cm}^{-3}$	1.69
pH $\text{H}_2\text{O}$ (1:2)	2.2
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) (1:2)	653
DQO ( $\text{kg K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ ton}^{-1}$ jal)	146
Balance ácido-base	
PN ( $\text{kg CaCO}_3 \text{ ton}^{-1}$ jal)	0 (-38.1)
PA ( $\text{kg CaCO}_3 \text{ ton}^{-1}$ jal)	109.2
PN/PA	0 (-0.348)

CE: Conductividad Eléctrica, CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico, MO: Materia Orgánica, DQO: Demanda Química de Oxígeno, PN: Potencial de Neutralización y PA: Potencial de Acidez.

Respecto a la caracterización química que se indica en la tabla 1, por un lado, el suelo presentó un valor de pH neutro (pH 7.1) cuyo valor está dentro del intervalo 6.6-7.3; y una CE=128  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , correspondiente a un suelo no salino, ambos, bajo el criterio de la NOM-021 (SEMARNAT, 2000). La capacidad de intercambio catiónico (CIC=79.1  $\text{cmol}(-) \text{kg}^{-1}$ ) muestra que tiene una muy alta disponibilidad de sitios de intercambio potenciales para la adsorción de metales, tanto nutrimentales como tóxicos, asimismo, el contenido de materia orgánica (1.6 %) de acuerdo con la NOM-021, indica que el suelo tiene un moderado contenido de la misma, según la NOM-021 (SEMARNAT, 2000).

Por el otro lado, en lo que compete al jal, éste material resultó no salino, altamente denso, y extremadamente ácido (pH=2.2), con evidente ausencia de carbonatos (SEMARNAT, 2000). De estos valores de pH puede concluirse que la oxidación de sulfuros remanentes dejados en los depósitos de los jales de la presa # 5 de Zimapán, ha sido casi completa, y que la presencia de acidez libre ( $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{3+}$ ) es necesariamente evidente, como lo corrobora Romero[5], quien a estos valores de (pH<4), confirmó la presencia de ácidos libres provenientes de la oxidación (ya completa) de los sulfuros, y altos niveles de Al-intercambiable (que ocurren a valores de pH <5.5).

En lo que respecta a la cuantificación del balance ácido-base del jal, el cociente PN/PA resultó menor a 1 (potencial de neutralización, PN, de 0 (-38 kg  $\text{CaCO}_3 \text{ ton}^{-1}$  jal)/potencial de acidez, PA, de 109.2 kg  $\text{CaCO}_3 \text{ ton}^{-1}$  jal), de acuerdo con la NOM-141 (SEMARNAT, 2004) [6], a valores de  $\text{PN/PA} \leq 1.2$ , los jales son potenciales generadores de drenaje ácido, producto de la oxidación de los sulfuros. La acidificación de los jales, sin embargo, se debe no solo a la oxidación de los sulfuros residuales a sulfatos, según reacciones del tipo,  $\text{S}^{2-} + \frac{3}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ , sino, a la hidrólisis de los iones férricos,  $\text{Fe}^{3+}$ , y de  $\text{Al}^{3+}$ , de acuerdo con reacciones de como  $\text{M}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{M}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ . Como complemento, la demanda química de oxígeno, DQO, corrobora el riesgo de potencial de generación de drenaje ácido a causa de los procesos de oxidación del jal que generan acidez. El valor de DQO fue de 146 kg  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ ton}^{-1}$  jal, valor que es indicativo de un riesgo potencial remanente de generación de drenaje ácido a causa de procesos de oxidación en los jales. Este valor de 146 kg  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ ton}^{-1}$  jal, es equivalente a 1.2% de contenido de  $\text{S}^{\text{II}}$ , (u otros agentes oxidables, e.g.,  $\text{Fe}^{2+}$ ) aun sin oxidar, asumiendo que todo el material oxidable fuese pirita. Esto concuerda con lo reportado por Balistrieri [7], Dold y Fontbote [8] quienes indican que la pirita presente en Zimapán es el mineral en mayor abundancia, lo que implicaría que los jales aún tengan potencial para seguir oxidándose, y en consecuencia, generar acidez. De acuerdo con esto, se requeriría de una adición extra de material de encalado (en el tiempo) de 37.5 kg  $\text{CaCO}_3 \text{ ton}^{-1}$  jal, para neutralizar una ulterior acidez potencial remanente que apareciera de los jales.

### ESTUDIOS DE ENCALADO DEL SUELO.

Las Figuras 1a, 1b y la tabla 2, muestran los resultados de los estudios cinéticos de neutralización-regulación ácido-base del suelo de Zimapán, estudios realizados con la finalidad de poder evaluar la dosis de adición de cal para neutralizar la acidez activa instantánea, y el tiempo (en condiciones ideales de incubación) que llevaría tal operación en el campo. De la Figura 1a, curva de pH vs mmoles de ácido, o base añadidos, puede notarse el valor de pH original (7.1) del suelo, valor coincidente con el valor 0 en las abscisas. Los diferentes datos por de-

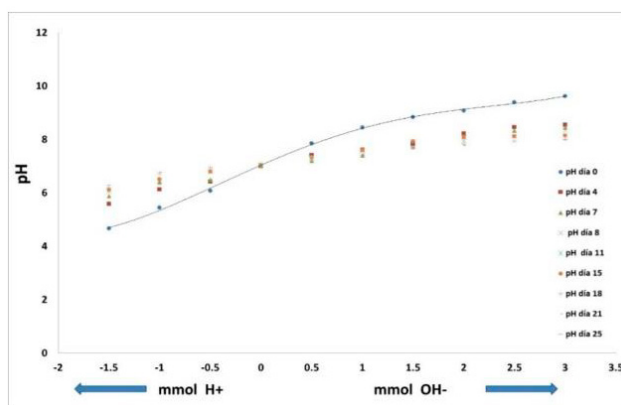
bajo y por arriba de la curva trazada (tiempo 0), muestran un desplazamiento relativo por regulación del pH (capacidad amortiguadora del suelo). Por debajo del valor original de pH del suelo, la regulación del mismo tiende hacia la neutralización del exceso de ácido, mientras que por arriba del valor de "cero-adición" de ácido/base, la tendencia es hacia neutralizar el exceso de alcalinidad adicionada, mostrándose en el punto de inflexión, el punto de cero carga neta de protón. Si se realiza un cálculo de la capacidad reguladora ácido-base  $\beta$  ( $=d(\text{OH}^-)/d\text{pH} \approx \Delta(\text{OH}^-)/\Delta\text{pH}$ ) puede estimarse el valor medio amortiguador del suelo, y su pH de máxima regulación, que corresponden a 0.05 moles de  $\text{OH}^- \text{ kg}^{-1}$  de suelo, y 8.1, respectivamente (ver Figura 1b).

**Tabla 2.** Cinética de regulación ácido-base del suelo de Zimapán.

Variación del pH vs. tiempo, a diferentes dosis de ácido/base.

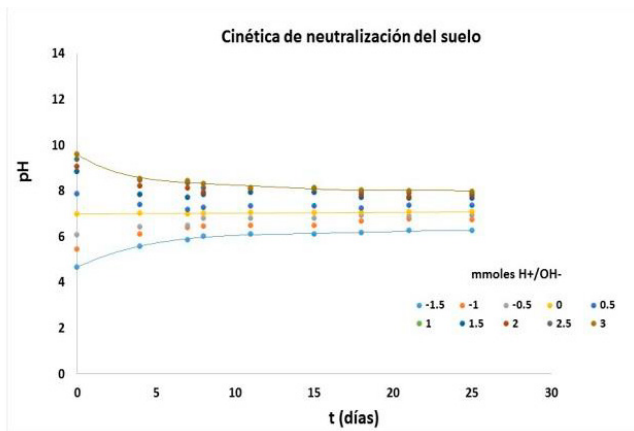
Los valores negativos de mmoles  $\text{H}^+$  indican la adición de HCl, mientras que los valores positivos significan la adición de mmoles de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Reactores	mmoles (-) $\text{H}^+$ / $\text{OH}^-$	pH día 0	pH día 4	pH día 7	pH día 8	pH día 11	pH día 15	pH día 18	pH día 21	pH día 25
1	-1.5	4.67	5.58	5.87	6.03	6.11	6.11	6.18	6.27	6.27
2	-1.0	5.45	6.12	6.39	6.46	6.50	6.50	6.69	6.76	6.75
3	-0.5	6.08	6.42	6.49	6.81	6.79	6.79	6.94	6.91	6.93
4	0	7.00	7.01	7.00	7.04	7.05	7.05	7.06	7.08	7.08
5	0.5	7.86	7.41	7.19	7.28	7.34	7.34	7.26	7.36	7.36
6	1	8.44	7.62	7.40	7.57	7.60	7.60	7.39	7.42	7.45
7	1.5	8.84	7.83	7.71	7.83	7.93	7.93	7.72	7.68	7.70
8	2.0	9.07	8.22	8.13	7.93	8.08	8.08	7.83	7.76	7.81
9	2.5	9.38	8.46	8.33	8.12	8.11	8.11	7.97	7.92	7.92
10	3.0	9.61	8.54	8.45	8.32	8.14	8.14	8.02	8.01	7.98



**Figura 1a.** Curva de titulación ácido-base del suelo de Zimapán.

Los valores negativos en las abscisas indican la adición de mmoles de HCl, mientras que los valores positivos significan la adición de mmoles de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Resultados obtenidos en proporción 1:3 sólido: líquido.



**Figura 1b.** Cinética de neutralización del suelo de Zimapán Los valores negativos de la leyenda, indican la adición de mmolesc de HCl, mientras que los valores positivos significan la adición de mmolesc de Ca(OH)<sub>2</sub>. Resultados obtenidos en proporción 1:3 sólido: líquido.

Jal

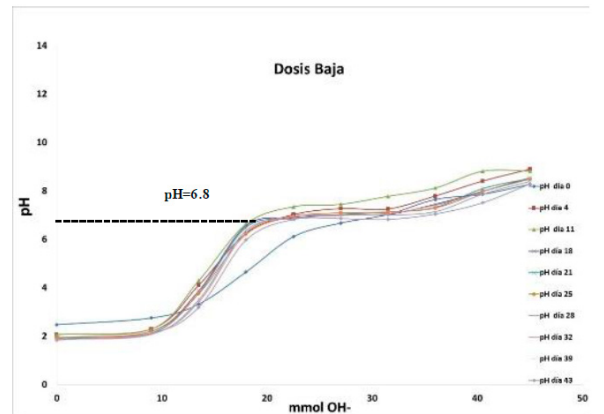
Los resultados mostrados en las Tablas 3,4 y 5 y Figuras 2,3 y 4, muestran las curvas de neutralización para el jal ácido, con Ca(OH)<sub>2</sub> a dosis bajas, medias y altas, correspondiendo estas a valores del orden de los 0-67.5, 0-90 y 0-135 mmoles de OH<sup>-</sup> adicionados, a intervalos incrementantes de 4.5, 6.0 y 9.0 mmoles de OH<sup>-</sup>, respectivamente. Estas dosis baja, media y alta, se propusieron con la finalidad de determinar en forma precisa y adecuada la dosis necesaria para neutralizar expeditamente la acidez (desconocida) del jal, y poder dar seguimiento puntual de la neutralización del mismo.

De acuerdo con los resultados obtenidos de los gráficos presentados en las Figuras 2,3 4, resulta evidente que una interpolación útil pudo sólo obtenerse de las curvas determinadas mediante las adiciones a bajas tasas (ver Tabla 3 y Figura 2a). La Figura 2a muestra dos aspectos relevantes: por un lado, a partir de los resultados se pudo determinar la dosis de encalado requerida para obtener un valor de pH de 6.8, correspondiente a una cantidad de cal de 2.65 kg de Ca(OH)<sub>2</sub> para 35 Kg de jal (75.7 kg Ca(OH)<sub>2</sub> ton<sup>-1</sup> jal, o 128 ton Ca(OH)<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>) y; por otro, la cinética de neutralización del jal arrojó que al día 21 de incubación, se logró su total neutralización, lo cual se corrobora también con lo presentado en la Figura 2b. Las curvas de neutralización elaboradas con las dosis medias y altas de encalado, rápidamente alcanzaron el punto de equivalencia de neutralización del jal, por lo que no fue posible rea-

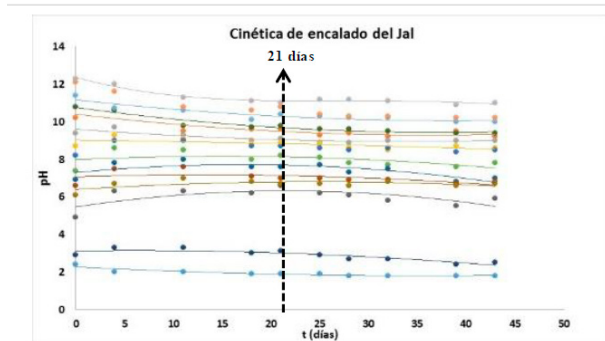
lizar una interpolación adecuada del requerimiento de cal, y no se pudo evaluar en forma útil el efecto cinético del proceso ácido-base bajo estas dos últimas condiciones.

**Tabla 3.** Valores de pH resultantes de los estudios cinéticos de neutralización del jal de Zimapán, a dosis bajas de mmolesc OH<sup>-</sup> adicionados como Ca(OH)<sub>2</sub>.

Reactores	mmoles OH <sup>-</sup>	pH día 0	pH día 4	pH día 11	pH día 18	pH día 21	pH día 25	pH día 28	pH día 32	pH día 39	pH día 43
1	0.0	2.4	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8
2	9.0	2.7	2.2	2.2	2.2	2.1	2.2	2.0	2.1	2.0	2.1
3	13.5	3.3	4.1	4.2	3.8	3.7	3.7	3.5	3.4	3.1	3.1
4	18.0	4.6	6.2	6.6	6.5	6.4	6.2	6.3	6.2	5.8	5.9
5	22.5	6.1	7.0	7.3	6.8	6.8	6.9	6.8	6.9	6.6	6.8
6	27.0	6.6	7.2	7.4	7.0	7.0	7.0	6.9	6.9	7.0	6.8
7	31.5	7.0	7.2	7.7	7.0	7.1	7.1	7.0	7.0	6.7	6.8
8	36.0	7.6	7.7	8.1	7.4	7.3	7.2	7.1	7.4	7.0	7.0
9	40.5	7.8	8.4	8.8	7.9	8.0	7.9	7.8	7.9	7.5	7.5
10	45.0	8.2	8.8	8.8	8.5	8.5	8.4	8.3	8.4	8.1	8.2
11	49.5	8.4	9.1	8.9	8.7	8.7	8.6	8.6	8.7	8.1	8.5
12	54.0	8.6	9.1	9.1	9.0	9.0	8.9	9.0	9.0	8.8	8.9
13	58.5	9.3	9.2	9.4	9.3	9.3	9.0	9.0	9.1	9.0	9.0
14	63.0	10.1	9.6	9.3	9.2	9.3	9.0	9.0	9.1	8.9	8.9
15	67.5	11.6	11.3	10.6	10.4	10.6	10.4	10.3	10.2	10.4	10.3



**Figura 2a.** Curva de titulación ácido-base del jal de Zimapán dosis baja. Los valores de mmolesc OH<sup>-</sup>, indican la adición de Ca(OH)<sub>2</sub>. Resultados obtenidos en proporción 1:3 sólido: líquido

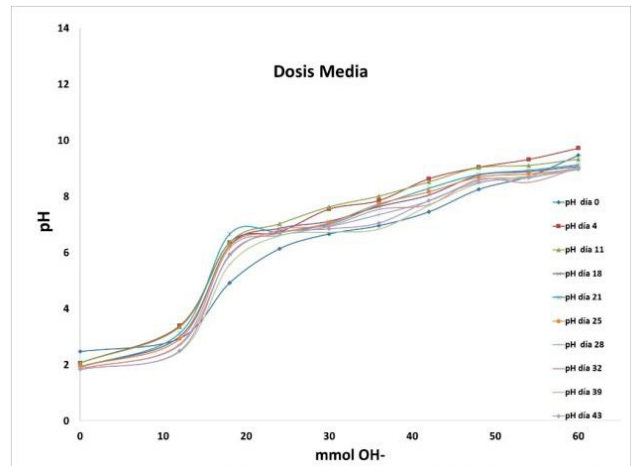


**Figura 2b.** Cinética de neutralización del jal de Zimapán: pH vs t (días). Los datos y líneas de regresión indican los valores de pH en el tiempo, tras la adición de los mmolesc de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  reportados en la tabla 2. Resultados obtenidos en proporción 1:3 sólido: líquido.

**Tabla 4.** Valores de pH resultantes de los estudios cinéticos de neutralización del jal de Zimapán, a dosis medias de mmoles  $\text{OH}^-$  adicionados como  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Reactores	mmoles $\text{OH}^-$	pH día 0	pH día 4	pH día 11	pH día 18	pH día 21	pH día 25	pH día 28	pH día 32	pH día 39	pH día 43
1	0.0	2.4	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8
2	12	2.9	3.3	3.3	3.0	3.1	2.9	2.7	2.7	2.4	2.5
3	18	4.9	6.3	6.3	6.2	6.6	6.2	6.1	5.8	5.5	5.9
4	24	6.1	6.7	7.0	6.8	6.7	6.7	6.6	6.8	6.6	6.7
5	30	6.6	7.5	7.6	7.1	7.0	7.0	6.9	6.9	6.7	6.8
6	36	6.9	7.8	8.0	7.6	7.6	7.7	7.3	7.5	6.8	7.0
7	42	7.4	8.6	8.5	8.0	8.2	8.1	7.8	7.7	7.6	7.8
8	48	8.2	9.0	9.0	8.7	8.7	8.6	8.5	8.6	8.4	8.5
9	54	8.7	9.3	9.1	8.8	8.9	8.8	8.6	8.5	8.7	8.6
10	60	9.4	9.7	9.3	9.0	9.1	8.9	8.9	9.0	9.0	9.0
11	66	10.2	10.6	9.5	9.6	9.6	9.3	9.4	9.2	9.5	9.2
12	72	10.8	10.6	9.8	9.7	9.8	9.6	9.6	9.5	9.4	9.4
13	78	11.4	10.7	10.6	10.1	10.4	10.3	10.2	10.2	10.0	10.0
14	84	12.1	11.6	10.8	10.6	10.8	10.4	10.3	10.3	10.2	10.2
15	90	12.3	12.0	11.3	11.1	11.0	11.2	11.2	11.1	10.9	11.0

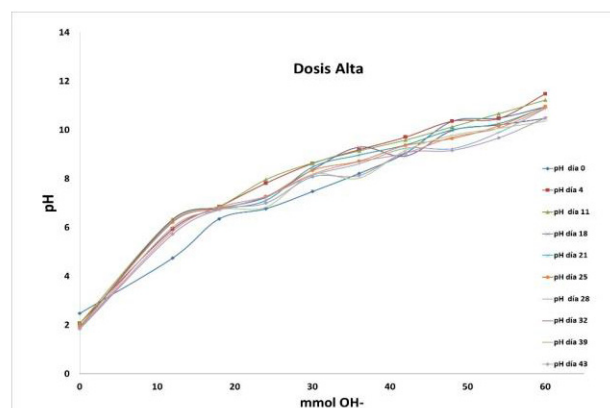
**Figura 4.** Curva de titulación ácido-base del jal de Zimapán dosis alta. Los valores de mmoles  $\text{OH}^-$ , indican la adición de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Resultados obtenidos en proporción 1:3 sólido: líquido (Únicamente se incluyen datos del intervalo relevante de trabajo).



**Figura 3.** Curva de titulación ácido-base del jal de Zimapán dosis media. Los valores de mmoles  $\text{OH}^-$ , indican la adición de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Resultados obtenidos en proporción 1:3 sólido: líquido (Únicamente se incluyen datos del intervalo relevante de trabajo).

Reactores	mmoles $\text{OH}^-$	pH día 0	pH día 4	pH día 11	pH día 18	pH día 21	pH día 25	pH día 28	pH día 32	pH día 39	pH día 43
1	0.0	2.4	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8
2	18	4.7	5.9	6.3	6.3	6.2	6.2	6.0	5.8	5.7	5.7
3	27	6.3	6.8	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8	6.71	6.7
4	36	6.7	7.8	7.9	7.2	7.1	7.2	7.2	7.2	6.8	7.0
5	45	7.4	8.6	8.6	8.3	8.4	8.3	8.1	8.1	8.1	8.0
6	54	8.2	9.1	9.1	9.2	8.9	8.7	8.6	8.6	8.0	8.1
7	63	9.0	9.7	9.5	8.9	9.3	9.3	9.2	9.0	9.1	9.0
8	72	10.3	10.3	10.1	9.9	10.0	9.6	9.2	9.7	9.7	9.1
9	81	10.4	10.4	10.6	10.2	10.2	10.1	9.8	10.0	10.0	9.6
10	90	10.9	11.4	11.2	10.4	10.9	10.9	10.8	10.8	10.3	10.4
11	99	11.0	11.3	11.5	11.2	11.4	11.5	11.4	11.3	11.3	11.3
12	108	11.4	11.7	11.6	11.3	11.6	11.5	11.4	11.3	11.3	11.3
13	117	12.3	12.0	11.4	11.2	11.7	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3
14	126	12.3	12.3	11.8	11.5	11.8	11.7	11.6	11.6	11.6	11.6
15	135	12.3	12.3	12.0	11.6	12.1	11.9	11.8	11.7	11.8	11.8

**Tabla 5.** Valores de pH resultantes de los estudios cinéticos de neutralización del jal de Zimapán, a dosis altas de mmoles  $\text{OH}^-$  adicionados como  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .



## CONCLUSIONES

De acuerdo con el objetivo planteado y los resultados generados en el presente trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente:

En la generación de una propuesta de fito-remediación aplicable a jales ácidos y suelos contaminados con Cd, Cu, Pb y Zn se logró un procedimiento de encalado exitoso, utilizando cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) como material de neutralización de la acidez producto de la oxidación de los residuos mineros sulfurosos, teniendo la ventaja de ser un material barato, de fácil adquisición y aplicación, y de utilidad en términos de disminuir la disponibilidad de los metales fito-tóxicos.

## REFERENCIAS

- [1] Armienta, M.A., Rodríguez, C.R., Ongley, L.K., Brust, H., Morales, F., Aguayo, A., Cruz, O., Cenicerros, N. (2007). Origin and fate of arsenic in a historic mining area of México. *Trace Metals and other Contaminants in the Environment*. 9, 473-498.
- [2] Bravin, M. N., Martí, A.L., Clairotte, M., Hinsinger, P. (2009). Rhizosphere alkalization: a major driver of copper bioavailability over a broad pH range in an acidic, copper contaminated soil. *Plant and Soil*. 318, 257-268
- [3] Neaman, A., Reyes, L., Trolard, F., Bourrié, G., Sauvé, S. (2009). Copper mobility in contaminated soils of the Puchuncaví valley, central Chile. *Geoderma*. 150, 359-366.
- [4] SEMARNAT-2000 (2001) Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, México.
- [5] Romero, F.M y Gutiérrez, M.R (2010). Estudio comparativo de la peligrosidad de jales en dos zonas mineras localizadas en el sur y centro de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62, 43-53.
- [6] SEMARNAT (2004). NOM-141-SEMARNAT-2003, que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales. Diario Oficial de la Federación, México.
- [7] Balistrieri, L.S., Box, S.E., Bookstrom, A.A., and Ikramuddin M. (1999). Assessing the influence of reacting pyrite and carbonate minerals on the geochemistry of drainage in the Coeur d'Alene mining district. *Environ. Sci. Technol.* 33, 3347-3353.
- [8] Dold B. y Fontbote L. (2001). Element cycling and secondary mineralogy in porphyry copper tailings as a function of climate, primary mineralogy, and mineral processing. *J. Geochem. Explor.* 74, 3-55.

## OPTIMIZACIÓN DE ELECTRODOS DE PLATINO PARA LA MEDICIÓN DE POTENCIAL DE REACCIONES DE OXIDO REDUCCIÓN A TRAVÉS DE LA SUSTITUCIÓN DEL METAL POR GRAFITO

Ixsoyen Felipe Vázquez Sandoval<sup>1</sup>, José de Jesús Pérez Saavedra\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FES-Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>2</sup>Sección de Química Analítica, FES-Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

[ixsoyen-felipe@hotmail.com](mailto:ixsoyen-felipe@hotmail.com), [quimicaa@unam.com.mx](mailto:quimicaa@unam.com.mx)

### RESUMEN

El presente trabajo busca reducir los costos de producción de los electrodos de Pt combinados para la medición del potencial en valoraciones volumétricas, a través de la sustitución de dicho metal por un material inerte (Grafito) y con un bajo valor comercial. Esto se logra a través de una serie de experimentaciones por valoraciones volumétricas de Oxido-Reducción con los cuales se logró determinar la similitud en la determinación de los puntos de equivalencia del sistema Fe(III)/Fe(II) con Cr(VI)/Cr(III) utilizando el electrodo comercial de Pt combinado y el electrodo de grafito.

**PALABRAS CLAVE:** Redox, Electrodos, Grafito, Costos, potenciometría

### ANTECEDENTES

Además de cuantificar, la química analítica tiene como objetivo la identificación y/o caracterización de especies químicas presentes en una muestra determinada, para lo cual son necesarios métodos y equipos que permitan obtener información sobre la composición y la naturaleza química de la materia, de ahí que una rama importante sea la que utiliza medidas eléctricas con fines analíticos.

La Potenciometría se basa en la medición de la corriente y el voltaje en el circuito, mediante electrodos que responden selectivamente a determinados analitos; la mayoría de los electrodos indicadores metálicos se construyen con platino, que es un metal relativamente inerte y tiene como función simplemente transmitir electrones de una especie presente en la disolución hacia ella. Es así que los electrones procedentes de una reacción redox circulan por el circuito eléctrico, permitiendo recabar

información química sobre la reacción [1].

La fuerza impulsora de una reacción viene expresada por la ecuación de Nernst, cuyos dos términos representan la fuerza impulsora en condiciones estándar ( $E^0$ , que se aplica cuando todas las actividades valen 1), y un término que expresa la dependencia de las concentraciones de los reactivos. La ecuación de Nernst da el potencial de una celda cuando la actividad de los reactivos no es la unidad.

$$E = E^0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{[\text{Reactivos}]^a}{[\text{Productos}]^B}$$

El platino, es un metal de transición interna, poco abundante sobre la superficie terrestre, es un metal inerte con un potencial de oxidación muy elevado, por lo cual es casi imposible formar sales del mismo. Estas

características lo hacen un metal estable e idóneo para la cuantificación del potencial en reacciones redox, debido a que no interfiere en la transferencia de electrones desde o hacia el seno de la reacción. Esto provee al platino de las características para la producción de electrodos.

El grafito, es una de las formas más estables del carbono, es una red de átomos que le confiere propiedades de conducción térmica y eléctrica lo que lo hace un buen sustituto del platino en la creación de electrodos para reacciones redox, debido a que posee las características básicas para ser un electrodo indicador.

### OBJETIVO(S)

Estudiar el comportamiento del grafito como electrodo indicador para la sustitución del Platino en los electrodos comerciales con el fin de reducir costos en la producción de los mismos.

- Determinar los puntos de equivalencia de la valoración.
- Comparar los puntos de equivalencia obtenidos por el electrodo de grafito con respecto del electrodo comercial de platino combinado.

### PARTE EXPERIMENTAL

Reactivos:

- $\text{KMnO}_4$  0.1N
- $\text{FeSO}_4$  0.1N
- $\text{H}_2\text{SO}_4$  Concentrado
- Solución de KCl saturada

Equipo:

- Electrodo de Pt combinado con referencia de  $\text{AgCl}/\text{Ag}^\circ$
- Electrodo de grafito (Minas de grafito 5H)
- 2 Potenciometros
- Vasos de fondo cóncavo
- Puentes de Agar-Agar con  $\text{KNO}_3$

### DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó el montaje experimental como muestra la figura 1, en el cual se colocaron 5mL de la solución de  $\text{FeSO}_4$  0.1N en medio ácido de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 5%, y se utilizó como valorante una solución de  $\text{Cr}_2\text{O}_7$  0.1N. Se colocaron ambos electrodos medidores dentro de la muestra a cuantificar.

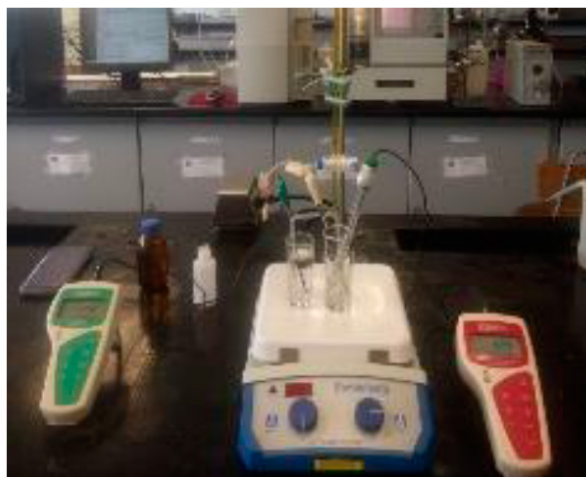


Figura 1. Montaje experimental

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la determinación de los puntos de equivalencia, se puede ver que tanto el grafito como el platino son sistemas estables (ver figura 2) y se obtienen resultados similares en las curvas de valoración. Durante la experimentación se tuvo que dejar en solución el electrodo de grafito para mejorar su conductividad eléctrica y su estabilidad, debido a que las pruebas mostraron que el grafito era menos sensible a los cambios de potencial cuando no se encuentra hidratado.

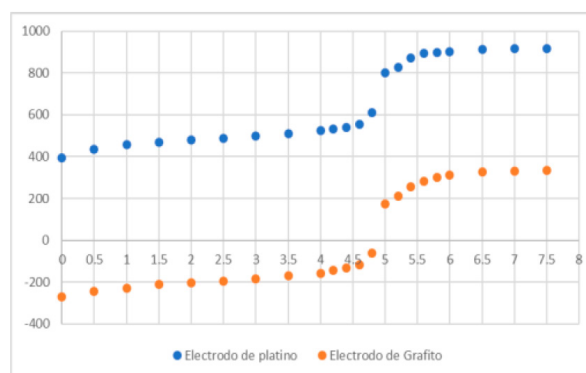


Figura 2. Comparación de curvas de valoración de Fe(III) con Cr(VI) en medio ácido obtenidas con el electrodo de platino (Azul) y con el electrodo de grafito (Naranja)

Se determinaron los coeficientes de variación de las titulaciones realizadas para determinar el porcentaje de error experimental obtenido, con lo cual se observa que el sistema de grafito con referencia de calomel tiene un menor porcentaje de error en la determinación potenciométrica comparado con el sistema del platino combinado.

En contraste, el estudio estadístico determino que cuando se sustituyó la referencia de calomel por una referencia de grafito, aumento el coeficiente de variación, sin embargo, el aumento de este coeficiente no fue significativo por lo cual se puede afirmar que ambos sistemas son estables en la cuantificación y determinación de puntos de equivalencia de sistemas redox.

**Tabla 1.** Puntos de equivalencia obtenidos con el electrodo de Pt combinado (Referencia de Ag/AgCl) y con el electrodo de grafito (Referencia de Calomel)

Punto de equivalencia (mL)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	%CV
Platino	4.6	4.7	4.6	1.0174
Grafito	4.65	4.7	4.6	0.8779

**Tabla 2.** Puntos de equivalencia obtenidos con el electrodo de Pt combinado (Referencia de Ag/AgCl) y con el electrodo de grafito (Referencia de grafito)

Punto de equivalencia (mL)	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	%CV
Platino	4.75	4.8	4.7	0.8594
Grafito	4.6	4.75	4.8	1.8017

## CONCLUSIONES

El grafito es un compuesto que puede sustituir al platino en la construcción de electrodos de medición de reacciones redox, debido a que es estable y disminuye el costo de producción de los mismos.

Así mismo, la estadística mostro que no hay variación significativa entre los resultados obtenidos por el grafito con respecto a los resultados obtenidos por el platino.

## AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, J. de Jesús, por todo el conocimiento y apoyo brindado en el desarrollo de este proyecto. A mis compañeros de carrera, por apoyarme y brindarme su conocimiento y apoyo en el desarrollo del proyecto. A Yocelín, Ariana, Gaby, Thalia, Jenn

## REFERENCIAS

[1] Harris, Daniel (2006). Análisis químico cuantitativo. 3ª ed., España: Reverté.



## CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO QUÍMICO-FARMACOLÓGICO DE LA ESPECIE *BACCHARIS SALICIFOLIA* (RUÍZ & PAV.) PERS. (JARILLA DE CASTILLA) DE LA LOCALIDAD DE SAN ANTONIO MATLAHUACALES, CHIGNAHUAPAN, PUEBLA

Thalía Serrano Munguía<sup>1</sup>, Lidia Rangel Trujano<sup>2</sup>, Brígida del Carmen Camacho Enríquez<sup>\*3</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>2</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>\*3</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

[lia\\_hh@hotmail.com](mailto:lia_hh@hotmail.com), [lrt389@gmail.com](mailto:lrt389@gmail.com), [bcamachoe@gmail.com](mailto:bcamachoe@gmail.com)

### RESUMEN

Este proyecto se enfoca en evaluar química y farmacológicamente el extracto acuoso de especie *Baccharis salicifolia* (jarilla de Castilla). La planta se seleccionó de un estudio de campo en la comunidad de San Antonio Matlahuacales, Puebla que evidenció ser la más utilizada para tratar el dolor e inflamación. La planta se recolectó en la misma región, se identificó botánicamente, tuvo una preparación previa y la obtención del extracto se aproximó a la preparación tradicional. El análisis fitoquímico dio positivo para azúcares reductores, saponinas, fenoles, alcaloides y flavonoides. Los polifenoles presentes en el extracto (18.7275 mg EAG/g de muestra) se determinaron por Folin-Ciocalteu. Se determinó la toxicidad del extracto en *Artemia franciscana* y mediante un tratamiento estadístico resultó una CL50=976.39 ppm, clasificándolo como de letalidad mínima. La evaluación farmacológica mostró una significativa actividad analgésica y antiinflamatoria a dosis de 1200 mg/kg, demostrando el uso popular contra el dolor y la inflamación.

**PALABRAS CLAVE:** *Baccharis salicifolia* (Ruíz & Pav.) Pers., dolor, inflamación, polifenoles, *Artemia franciscana*

### ANTECEDENTES

México forma parte de la lista de países que poseen como recurso de salud a la medicina tradicional, siendo el principal recurso, las plantas medicinales. De igual forma, es importante mencionar que dentro de las prácticas utilizadas en la medicina tradicional se encuentran las que se refieren al tratamiento del dolor e inflamación del sistema músculo-esquelético, en las que se hace uso de las plantas medicinales y/o hueseros para coadyuvar en el tratamiento de este padecimiento. Una de las plantas que se utiliza tradicionalmente para este fin es la jarilla de Castilla (*Baccharis salicifolia* (Ruíz & Pav) Pers.) y de la que hay poca información bibliográfica sobre estudios químicos y farmacológicos. Con base a información de campo sobre la jarilla de

Castilla en la localidad de San Antonio Matlahuacales, Puebla, se seleccionó esta planta medicinal para contribuir de manera científica en el estudio químico-biológico de este importante recurso vegetal.

### OBJETIVO

Evaluar el remedio tradicional elaborado con la planta jarilla de Castilla (*Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers) por medio de ensayos químicos y pruebas farmacológicas, para contribuir al estudio de las plantas mexicanas utilizadas en la medicina tradicional de San Antonio Matlahuacales, Chignahuapan, Puebla.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se adquirió información directa por medio de conversaciones con los habitantes de San Antonio Matlahuacales, Puebla con el fin de conocer las plantas medicinales que generalmente utilizan.

Se seleccionó a la planta conocida popularmente como jarilla de Castilla siendo identificada como *Baccharis salicifolia* (Ruíz & Pav.) Pers.

Conociendo la identidad botánica de la planta, se utilizó un ejemplar fresco y nuevamente se recopiló información por medio de una encuesta semiestructurada en la misma localidad.

Se prepararon 5 extractos con base a la información proporcionada por la localidad y se efectuaron ensayos fitoquímicos para conocer la composición química general de los metabolitos presentes.

Se determinó el tamaño de partícula y el porcentaje de humedad de la materia prima vegetal.

Se seleccionó el extracto que mostró en el análisis fitoquímico un resultado evidentemente positivo para polifenoles, que fue la preparación tradicional y se prosiguió a liofilizar dicho extracto.

Para la determinación de toxicidad, se eclosionaron nauplios de artemia y se probaron 11 concentraciones del extracto entre 100-3000 ppm, utilizando como control negativo agua de mar y como control positivo, dicromato de potasio a 500 ppm (Sánchez, 2015). Se calculó la CL50 y los intervalos de confianza 95% por el método estadístico Probit con el programa estadístico IBM SPSS Statistics 24.

La cuantificación de polifenoles se realizó por medio de una curva patrón con ácido gálico por el método de Folin-Ciocalteu, posteriormente se interpolaron las absorbancias de las muestras obtenidas a 765 nm. Para la actividad analgésica y antiinflamatoria se utilizaron ratones albinos machos proporcionados por el bioterio de la Facultad de Medicina. Se mantuvieron con alimentación ad libitum a base de nutricubos a temperatura ambiente durante 20 días, transcurrido ese tiempo se realizaron los modelos para evaluar los efectos farmacológicos del extracto obtenido.

La actividad antiinflamatoria se evaluó por medio de la prueba de inflamación en pata con formalina al 10%, utilizando dosis de extracto liofilizado a 600 y 1200 mg/kg por vía oral, como testigo indometacina (7 mg/kg) y control negativo agua destilada (20 mL/kg).

La actividad analgésica se evaluó por medio de la prueba de contorsiones abdominales con ácido acético al 1%, utilizando dosis de extracto liofilizado a 200, 400, 600 y 1200 mg/kg por vía oral, como testigo naproxeno (100 mg/kg) y control negativo agua destilada (20 mL/kg).

Los animales fueron sacrificados al finalizar las pruebas farmacológicas por medio de inhalación con éter (Ortega et al., 2002).

Los resultados obtenidos en los grupos que recibieron extracto, se compararon con los obtenidos en control y testigo en ambas pruebas, permitiendo determinarse el porcentaje de inhibición en cada una de ellas. Se realizaron cotejos entre las distintas dosis empleadas para establecer diferencias entre ellas con ayuda de ANOVA de un factor con el programa estadístico IBM SPSS Statistics 24.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estudio de campo se encontró que en la comunidad de San Antonio Matlahuacales, Puebla a la planta *Baccharis salicifolia* se le conoce con los nombres: jarilla, jarilla de Castilla, hierba del golpe, jarilla cimarrona, jarilla real y jarilla pegajosa. Crece sin intervención humana en todo el territorio de la localidad.

Las personas participantes, externaron los usos que le han dado a la planta. Como se puede observar en la Tabla 1 son muy diversos. Los términos utilizados se escriben tal y como las personas lo manifestaron.

Todas las personas que han hecho uso de la jarilla de Castilla aseguraron que la planta cumple la función para la cual la utilizan.

**Tabla 1.** Usos de la especie *B. salicifolia* en la región de San Antonio Matlahuacales

Padecimiento	
Baños post-partos	Curar mamas
Dolor en músculos	Reumas
Inflamación de vientre	Heridas
Dolor general	Fracturas
Dolor en articulaciones	Hinchazón
Bajar la temperatura	Golpes
Torceduras	Huesos zafados
Enfriamiento en hueso	Granitos en la piel
Dolor de huesos	Zonas inflamadas

En el ensayo fitoquímico que se realizó a la planta se obtuvo como respuesta la presencia de azúcares reductores, alcaloides, saponinas, lactonas sesquiterpénicas y flavonoides. Siendo más evidentes los resultados en la preparación de planta con nejayote (líquido amarillo resultado del cocimiento del maíz en el proceso de nixtamalización), principalmente en las pruebas indicativas de la presencia de polifenoles, metabolitos secundarios con reconocida actividad antiinflamatoria (Guardia, Rotelli, Juárez y Pelzer, 2001) y analgésica (Galati et al., 1994).

El tamaño de partícula se determinó con base a lo estipulado en la FEHUM, clasificando a la materia vegetal triturada como polvo grueso. El porcentaje de humedad de la materia vegetal triturada es menor a 10%, estableciéndose que la conservación fue apropiada. En el ensayo de toxicidad en *Artemia franciscana*, se determinó la letalidad del extracto utilizando el método Probit (Figura 1), obteniendo una CL50 de 976.39 ppm, por lo que posee una letalidad mínima de acuerdo con Sanabria & Sandra (1997).

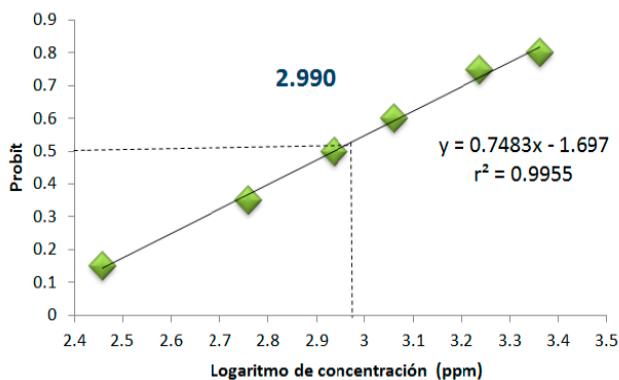


Figura 1. Resultados de análisis Probit del extracto de *B. salicifolia*

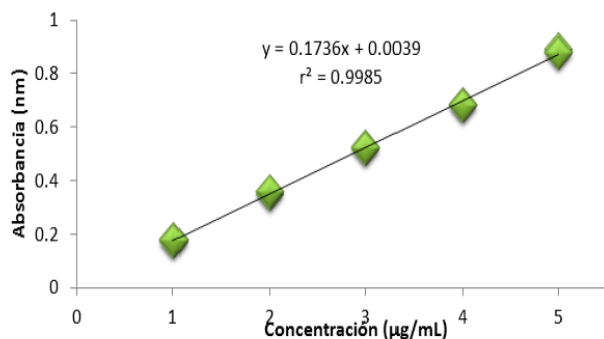


Figura 2. Curva de calibración para determinación de polifenoles

Se determinaron las absorbancias de las muestras utilizando la curva de calibración (Figura 2). Obteniendo así, lo siguiente:

Tabla 2. Compuestos polifenólicos en 6 muestras

Muestra	Absorbancia	Determinación
Nejayote	0.202	3.8383 mg EAG /g de muestra
Planta malla 30	0.571	13.4022 mg EAG /g de muestra
Planta malla 40	0.637	15.2706 mg EAG /g de muestra
Decocción tradicional con planta malla 30	0.695	16.8487 mg EAG /g de muestra
Decocción tradicional con planta malla 40	0.764	18.7275 mg EAG /g de muestra
Liofilizado	0.506	143.8946 mg EAG /g de muestra

Con respecto a la actividad farmacológica en la prueba de inflamación en pata con formalina se obtuvo una inhibición como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Efecto del extracto de *Baccharis salicifolia* en el ensayo de formalina

Grupo experimental	Promedio de respuestas en fase completa 0-30 min	Inhibición (%)
Dosis 600 mg/kg	34.83±6.58	29.64
Dosis 1200 mg/kg	24.66±3.67	50.18
Testigo	16.16±4.96	67.37
Control	49.5±6.09	--

Nota: Cada valor está dado como la media ± D. E. de las observaciones (n = 6 ratones por grupo)  
\*p < 0.05 con relación al grupo control

En la prueba de analgesia generando contorsiones con ácido acético, se obtuvo una inhibición del dolor como se muestra en la Tabla 4, siendo la actividad analgésica de *Baccharis salicifolia* dosis-dependiente.

**Tabla 4.** Efecto de extracto liofilizado de *Baccharis salicifolia* en dolor inducido por ácido acético

Grupo experimental	Número de contorsiones	Inhibición (%)
Dosis 200 mg/kg	69 ± 13.995	19.29
Dosis 400 mg/kg	40.17 ± 11.374	53.02
Dosis 600 mg/kg	20.33 ± 6.653	76.22
Dosis 1200 mg/kg	3.017 ± 1.232	96.47
Testigo	2.83 ± 2.563	96.69
Control	85.5 ± 31.214	--

Nota: Cada valor está dado como la media ± D. E. de las observaciones (n = 6 ratones por grupo).

\*p > 0.05 de dosis 200 ppm con relación al grupo control

\*\*p < 0.05 de las demás dosis con relación al grupo control

## CONCLUSIONES

Se seleccionó a la especie *Baccharis salicifolia* conocida como "jarilla de Castilla" porque de acuerdo con los resultados de campo es la planta más utilizada por la comunidad de San Antonio Matlahuacales, Puebla; así como por la escasez de información bibliográfica.

Con base a los resultados obtenidos en las pruebas de fenoles y flavonoides del análisis fitoquímico, se seleccionó la preparación de planta/nejayote para su estudio químico y farmacológico.

Se demostró que la concentración de polifenoles es inversamente proporcional al tamaño de partícula de la materia prima vegetal triturada.

Los resultados obtenidos en la prueba de toxicidad con artemia demostraron que la letalidad del extracto liofilizado de *B. salicifolia* es mínima (976.39 ppm), denotando la seguridad en su uso tradicional. La actividad analgésica y antiinflamatoria de *B. salicifolia* se determinó a una dosis 1200 mg/kg de peso. La actividad analgésica de *B. salicifolia* se determinó como dosis dependiente.

## AGRADECIMIENTOS

A las personas que permitieron directa e indirectamente la culminación de este trabajo y al apoyo del proyecto PAPIME PE204814 "Actualización y Fortalecimiento de la enseñanza experimental de las asignaturas Farmacognosia y Fitoquímica de la carrera de Licenciado en Farmacia y Licenciado en Bioquímica Diagnóstica".

## REFERENCIAS

- [1] Abad, M. y Bermejo, P. (2007) *Baccharis* (Compositae): a review update, Department of Pharmacology, Faculty of Pharmacy, University Complutense. ARKI-VOC Journal, 1(7), 76-96.
- [2] Agudelo I., Isolabella, S., Filip, S., Wagner, M. y Ricco, R. (2016). *Baccharis spicata* (Lam) Baill: Polyphenol screening, determination of their antioxidant activity and their main polyphenolic metabolites. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 5(6), 278-285.
- [3] Aguilar, E., Anaya, B., Alarcón, J. y Tinco, A. (2007). Etnobotánica, fitoquímica y farmacología de especies del género *Baccharis* (asteráceas) utilizadas como plantas medicinales en el departamento de Ayacucho. Ciencia e Investigación, 10(1), 13-19.
- [4] Alonso, J. (2007). Tratado de Fitofármacos y nutracéuticos. Argentina: CORPUS.
- [5] Aparicio, A. (2005). La medicina tradicional como medicina ecocultural. Gazeta de Antropología, 21(10), 1-9.
- [6] Avella, D., Ortiz, C. y Mendoza, A. (2008). Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal. Centro Nacional de Metrología, 1-5.
- [7] Barragán, A. (2006). El dolor crónico: una visión antropológica de acuerdo a familiares y pacientes. Medi-graphic, México. 8(2), 109-117.
- [8] Berenzon, S., Ito, E. y Vargas, L. (2006). Enfermedades y padeceres por los que se recurre a terapeutas tradicionales en la Ciudad de México. Salud Pública de México, 48(1), 45-56.
- [9] Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana (2009). Atlas de las plantas de la medicina tradicional mexicana. Recuperado de <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Baccharis%20salicifolia&id=7008>
- [10] Boada, M., Colom, A. y Castelló N. (2011). La experimentación animal. Recuperado de [https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/80084/la\\_experimentacion\\_animal.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/80084/la_experimentacion_animal.pdf)
- [11] Bruneton, J. (2001). Farmacognosia, fitoquímica, plantas medicinales. España: ACRIBIA.
- [12] Burrows, G. y Tyrl, R. (2013). Toxic Plants of North America. Iowa, USA: WILLEY-BACKWELL.
- [13] Carrizo, R., Ponzi, M., Ardanaz, C., Tonn, C. y Donadel, O. (2009). Chemical composition of essential oil of *Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pavon) Pers. and antibacterial activity. Journal of the Chilean Chemical Society,

54(4), 475-476.

[13] Castro, A., Cruz, J., y Ruiz, L. (2009). Educar con ética y valores ambientales para conservar la naturaleza. *Convergencia*, 16(50), 353-382.

[14] Castro, L. y Alzate, M. (2008). Estudio preliminar de la actividad biológica de extractos de *Annona cherimolia* Mill. Tesis de licenciatura. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías, Pereira.

[15] Chevallier, A. (1996). *Enciclopedia de plantas medicinales*. Gran Bretaña: Acento Editorial.

[16] CONABIO (2017). Malezas de México. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/baccharis-salicifolia/fichas/ficha.htm>

[17] De la Torre, A. (2014). Las plantas medicinales mexicanas más usuales y sus propiedades. Recuperado de <http://ecoosfera.com/2014/11/las-plantas-medicinales-mexicanas-mas-usuales-y-sus-propiedades/>

[18] Elejalde E. (1999). Aplicación de métodos espectroscópicos al estudio de las características cromáticas de los componentes polifenólicos presentes en vinos. *Fórmula*, 5(1), 39-66.

[19] Flora of North America (2008). *Baccharis salicifolia*. Recuperado de [http://efloras.org/object\\_page.aspx?object\\_id=57424&flora\\_id=1](http://efloras.org/object_page.aspx?object_id=57424&flora_id=1)

[20] Freire, S., Urtubey, E, y Giuliano, D. (2007). Epidermal characters of *Baccharis* (Asteraceae) species used in traditional medicine. *Caldasia*, 29(1), 23-38.

[21] Gaete, F., Amaro, J., Calfuman, A., Jara, R. y Toro, P. (2012). Procedimientos para la preparación de la formalina neutral al 10%. *Hospital Santiago Oriente*. 97-100.

[22] García J., de la Rosa, L., Herrera, B., González, A., López, J., González, G., Ruíz, S. y Álvarez, E. (2005). Cuantificación de polifenoles y capacidad antioxidante en duraznos comercializados en Ciudad Juárez, México. *Tecnociencia Chihuahua*, 5(3), 67-75.

[23] García, G. (2014). *Plantas medicinales de Aguascalientes*. Aguascalientes, México. Universidad Autónoma de Aguascalientes.

[24] Gómez, H., González, K. y Medina, J. (2011). Actividad antiinflamatoria de productos naturales. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 10(3), 182-217.

[25] Gómez, O., Sesma, S., Becerril, V., Knaul, F., Arreola, H. y Frenk, J. (2011). Sistema de Salud en México. *Salud Pública de México*, 53 (2), 220-232.

[26] González, C., Méndez, J., Romero, J., Bustamante, J. Castro, R. y Jiménez, M. (2012). Cuidados paliativos

en México. *Revista Médica del Hospital General de México*, 75(3), 173-179.

[27] González, E, Villca T., y Loza, R. (2007). Evaluación de la actividad antiinflamatoria de ocho especies del género *Baccharis*: *B. articulata*, *B. dracunculifolia*, *B. salicifolia*, *B. ulcina*, *B. latifolia*, *B. pentlandii*, *B. obtusifolia*, *B. subalata*. *Revista Boliviana de Química*, 24(1), 41-44.

[28] González, M. (2000). Modelos animales de dolor y aspectos éticos de la experimentación animal. *Revista de la Sociedad Española*, 7(5), 313-318.

[29] Guardia, T., Rotelli, A., Juárez, A. y Pelzer, L. (2001). Anti-inflammatory properties of plant flavonoids. Effects of rutin, quercetin and hesperidin on adjuvant arthritis in rat. *Farmacología*, 56(9), 683-687.

[30] Harborne, J. y William C. (2000). *Advances in flavonoid research since 1992*. *Phytochemistry*. España: Elsevier.

[31] Hudson, R., Laclette, J., Lomelí, C., Mancilla, R., Morales, M., Ostrosky, P. y Rojas, E. (2007). Código Ético para el Personal Académico del Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM, ResearchGate, 1-60.

[32] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Censo de Población y Vivienda. México. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/>

[33] Kottow, M. (2006). Bioética e investigación con seres humanos y en animales. Comité Asesor de Bioética de CONICYT. Santiago. Recuperado de <http://www.conicyt.cl/fondecyt/files/2012/10/Libro-1-Bio%C3%A9tica-e-investigaci%C3%B3n-con-seres-humanos-y-animales.pdf>.

[34] López, M. (2012). *Manual de plantas medicinales*. España: Fundación de religiosos para la salud.

[35] Martino, V. (2000). Los flavonoides como promisorios agentes preventivos y terapéuticos. *Acta Farmacéutica Bonaerense*, 19(4), 303-308.

[36] Maureen, A. y Prieto, E. (1999). Plantas que contienen polifenoles, antioxidantes dentro del estilo de vida. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 18(1), 12-14.

[37] Menéndez, C., Suárez, A. y Vargas, G. (2013). Investigación sobre la potencial toxicidad de *Baccharis ochracea* (mio-mio blanco) en bovinos. Tesis de Doctorado. Universidad de la República, Uruguay.

[38] Mould, J., Peláez, I., Vázquez, J., Terán, L., Esquivel, J., Ventura, L., Aceves, F., Bernard, A., Go-

- yochea, A., Hernández, A. y Burgos, R. (2008). El costo de las principales enfermedades reumáticas inflamatorias desde la perspectiva del paciente en México. *Gaceta médica de México*, 144(3), 225-231.
- [39] Muñetón, P. (2009). Plantas medicinales: un complemento vital para la salud de los mexicanos. Entrevista con el Dr. Erick Estrada Lugo. *Revista Digital Universitaria*. UNAM, 10(9), 1-9.
- [40] Muñoz, E., Rivas, K., Loarca, M., Mendoza, S., Reynoso, R., y Ramos, M. (2012). Comparación del contenido fenólico, capacidad antioxidante y actividad antiinflamatoria de infusiones herbales comerciales. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 3(3), 481-495.
- [41] Ocegueda, S., Moreno, E. and Koleff, P. (2005). Plantas utilizadas en la medicina tradicional y su identificación científica. CONABIO. *Biodiversitas*, 62(1), 12-15.
- [42] Organización Mundial de la Salud (2003). Directrices de la OMS sobre buenas prácticas agrícolas y de recolección de plantas medicinales. Ginebra. Recuperado de <http://apps.who.int/medicinedocs/pdf/s5527s/s5527s.pdf>
- [43] Ordoñez, E., León, A., Reátigui, D. y Sandoval C. (2012). Cuantificación de polifenoles totales y actividad antioxidante en hojas, corteza, flores y fruto de dos variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Investigación y Amazonia*, 1(2), 48-52.
- [44] Ortega, A., Roca, A. y Micó, J. (2002). Modelos animales de dolor. Una visión crítica. *Revista de la Sociedad Española*, 9(1), 447-453.
- [45] Ortega, R. (2006). Cultura del dolor, salud y enfermedad: percepción de enfermería, usuarios de salud y curanderos. *Cultura de los Cuidados*, 1(19), 63-72.
- [46] Pérez, A., López, A. y Grau, I. (2002). Antiinflamatorios no esteroideos (AINES). *Revista Cubana de estomatología*, 39(2), 203-212.
- [47] Pino, O. y Lazo, F. (2010). Ensayo de Artemia: útil herramienta de trabajo para ecotoxicólogos y químicos de productos naturales. *Protección vegetal*, 25(1), 34-43.
- [48] Prada, J., Orduz, L. y Coy, E. (2016). *Baccharis latifolia*: Una Asterácea poco valorada con potencialidad química y medicinal en el neotrópico. *Universidad Militar Nueva Granada*, 12 (1), 92-105.
- [49] Ramírez, G., Reyes, M. y Cruz, A. (2013). Estudio del nejayote como medio de crecimiento de prebióticos y producción de bacteriocinas. México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12 (3), 463-471.
- [50] Salazar, W., Cárdenas, J., Villafuente, S., Fernández, I., Villegas, L., Pacheco, L. y Untiveros, G. (2007). Estudio fitoquímico y de la actividad antihelmíntica de los extractos de *Euphorbia huanchahana* y *Baccharis salicifolia*. *Revista de la Sociedad Química*, 73(3), 150-157.
- [51] Sanabria, A. y Sandra, L. (1997). Estudio fitoquímico preliminar letalidad sobre *Artemia salina* de plantas colombianas. *Ciencias Químicas Farmacéuticas*, 1 (26), 15-19.
- [52] Sánchez, A. (2015). Toxicidad aguda en *Artemia franciscana* Kellogs de aceites esenciales de cinco especies. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México.
- [53] Silva, J., Torrejón, G., Bay-Schmit, E. y Larrain, A. (2003). Calibración del bioensayo de toxicidad aguda con *Daphnia pulex* (Crustacea: Cladocera) usando un toxico de referencia. *Gayana*, 67(1), 87-96.
- [54] Terraza, F. (2013). Recuperación de ácido ferúlico a partir del licor de cocimiento (nejayote) del proceso tradicional de nixtamalización del maíz blanco. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- [55] Tiburcio J., Condezo, L. & Asquiere, E. (2010). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh). *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 30(Supl.1), 151-160.
- [56] Toro, V. (2009). Evaluación de la actividad analgésica aguda y crónica de *Phytolacca dioica*. Tesis de licenciatura. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacológicas, Santiago de Chile.
- [57] TROPICOS (2007). Missouri Botanical Garden. *Baccharis salicifolia* (Ruíz & Pav.) Pers. Recuperado <http://www.tropicos.org/TaxonomyBrowser.aspx?nameid=2701905&projectid=0&conceptid=1>
- [58] Verdinez, A. y Zapata, J. (2015). Evaluación del efecto antiinflamatorio y analgésico del ácido dihidrotucomanóico. *Jóvenes en la Ciencia*, 1(2), 127-131.
- [59] Victoria, M. y Morón, F. (2010). Bioética en experimentación animal para validar usos de plantas medicinales en el Laboratorio Central de Farmacología. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 15(3), 157-168.
- [60] Villaseñor, J. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(1), 559-902.

## COMPARACIÓN DE LA DETERMINACIÓN DE NARINGINA POR ELECTROFORESIS CAPILAR CON 3 MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICOS EN CITRUS PARADISI

Juan Daniel Gutiérrez Gómez <sup>(1)</sup>, María Gabriela Vargas Martínez <sup>(1)\*</sup> y Brígida del Carmen Camacho Enríquez <sup>(2)</sup>

### RESUMEN

México es líder en producción de cítricos, al ubicarse como el quinto productor a nivel mundial (4.6% del total) detrás de China (21%), Brasil (18%), Estados Unidos (8%) y la India (6%). La citricultura en México es una actividad de gran importancia económica y social: Se realiza en poco más de medio millón de hectáreas en regiones con clima tropical y sub-tropical en 23 entidades federativas. La NAR es usada en perfumería y para dar sabor a golosinas, bebidas y productos de panadería, actualmente, es una molécula muy estudiada por su gran capacidad antioxidante, como estabilizante de aceites, antimutagénico, y como precursor del compuesto "naringina dihidrochalcona" que posee una muy importante capacidad endulzante (500 - 700 veces más dulce que la sacarosa).

**PALABRAS CLAVE:** Naringina, Flavonoides, Cromatografía, UV-Visible.

### ANTECEDENTES

México es líder en producción de cítricos, al ubicarse como el quinto productor a nivel mundial (4.6% del total) detrás de China (21%), Brasil (18%), Estados Unidos (8%) y la India (6%). La citricultura en México es una actividad de gran importancia económica y social; se realiza en poco más de medio millón de hectáreas en regiones con clima tropical y sub-tropical en 23 entidades federativas. De esa superficie, aproximadamente 80% se destina a los denominados cítricos dulces, cuya producción es del orden de 4.9 millones de toneladas por cosecha, principalmente de naranja (83% del total), toronja (8%), mandarina (5%) y tangerina (4%) [1]. Un estudio publicado por el Ministerio de Agricultura Estatal de China y la Universidad de Zhejiang, revela que la naringina (NAR) y la neohesperidina tienen propiedades beneficiosas para personas que sufren diabetes, ya que reducen el nivel de azúcar en la sangre. Estas dos sustancias se encuentran tanto en el zumo como en otras partes de diferentes cítricos principalmente en

la toronja (*Citrus paradisi*) y la naranja agria (*Citrus aurantium*), aunque los niveles varían mucho según cada variedad. La NAR es una flavanona glicosilada (ver Figura 1a), presente en mayor proporción en el albedo (piel blanca, Figura 1b) de la toronja, que dependiendo los cuidados y el clima pueden estar entre los 4.9 mg/g hasta los 42 mg/g [2-3].



**Figura 1.** a) Estructura de la naringina, b) localización del albedo de la toronja

La NAR es usada en perfumería y para dar sabor a golosinas, bebidas y productos de panadería, actualmente, es una molécula muy estudiada por su gran capacidad antioxidante, como estabilizante de aceites, antimutagénico, y como precursor del compuesto "naringina dihidrochalcona" que posee una muy importante capacidad endulzante (500 - 700 veces más dulce que la sacarosa). En este trabajo se realiza la comparación de la determinación de NAR por electroforesis capilar (EC) y utilizando 3 metodologías espectrofotométricas. Lo anterior con la finalidad discutir sus ventajas y limitaciones, además de poder contar con varias metodologías alternativas para su análisis rutinario.

## OBJETIVO(S)

Determinar el método espectroscópico más confiable para la cuantificación de la naringina mediante la aplicación de reacciones cromogénicas en toronjas como alternativa a los métodos convencionales. Comparar 3 métodos espectroscópicos distintos para establecer cual de ellos es más eficiente y eficaz para la industria.

## PARTE EXPERIMENTAL

**Condiciones de separación por electroforesis capilar:** Se utilizó un equipo de Electroforesis Capilar P/ ACE MDQ, Beckman Coulter Capillar y Electrophoresis system (Fullerton, CA, USA). Las mediciones de la NAR se realizaron utilizando capilares de sílice fundida de 50  $\mu\text{m}$  de diámetro interno, 54 cm de longitud total y 43.5 cm de longitud efectiva, la detección se realizó a 200 nm, a un voltaje aplicado de 26.8 KV. Las corrientes obtenidas fueron alrededor de 80  $\mu\text{A}$ . El buffer de corrida o separación, consistió en un buffer de boratos 50 mM (a partir de tetraborato de sodio) y como disolvente agua desionizada a pH 9.4.

**Precisión:** Para el estudio de precisión, se evaluó su repetibilidad, preparándose una solución patrón de NAR y utilizando como estándares internos (EI) el ácido benzoico y el metiparabeno; De los electroferogramas obtenidos anteriormente, se determinaron la desviación estándar relativa (%RSD) para los tiempos de migración (tm), relación de áreas ( $A_{\text{NAR}}/A_{\text{EI}}$ ) y alturas ( $H_{\text{NAR}}/H_{\text{EI}}$ ).

**Cuantificación de NAR:** Para la cuantificación de NAR se utilizó como estándares internos al ácido

benzoico. La elaboración de las curvas de calibración se preparó soluciones stock de NAR y de los E.I. La tabla de los sistemas y con la preparación de los diferentes niveles de la curva de calibración se puede ver en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Preparación de los sistemas para la curva de calibración de NAR.

Vol. NAR Stock (mL)	Vol. Ácido benzoico Stock (mL)	Vol. metiparabeno (mL)	Vol. Aforo (mL)	[NAR] (M)	[Ácido benzoico] (M)	[Metiparabeno] (M)
1	2	2	25	0.0002	0.003	0.0025
2	2	2	25	0.0008	0.003	0.0025
3	2	2	25	0.0012	0.003	0.0025
4	2	2	25	0.0016	0.003	0.0025
5	2	2	25	0.0020	0.003	0.0025
6	2	2	25	0.0024	0.003	0.0025
7	2	2	25	0.0028	0.003	0.0025

Cada solución de la curva fue medida por triplicado y los datos de tiempo de migración, área y altura fueron obtenidos, así como las relaciones de ( $A_{\text{NAR}}/A_{\text{EI}}$ ) y alturas ( $H_{\text{NAR}}/H_{\text{EI}}$ ) y analizados utilizando el software Statgraphics Centurion XVI.

**Métodos Espectrofotométricos:** Se utilizó un Espectrofotómetro Modelo Halo XB-10 Marca Dynamica, realizando las mediciones por triplicado, de 250 a 400 nm para los espectros de UV-VIS de naringina y de 250 a 800 nm para la reacción de Shinoda y la de aluminio, con una variación de longitud de onda de 2 nm entre medición y una precisión de 2 nm.

1) Método de UV-Vis de naringina:

Se pesaron aproximadamente 0.0254 g de NAR reactivo analítico (RA) y se aforaron en una mezcla de etanol-agua (80:20, v/v) para tener una solución stock de  $1.59 \times 10^{-4}$  M, de ésta se tomaron 6 porciones (de 1, 2, 3, 4, 5, 6 mL) para la medición de la curva de calibración a una longitud de 288 nm.

2) Reacción de Shinoda:

**Curva de calibración con el método de Shinoda:** Se prepararon por triplicado 6 soluciones a partir de un stock de NAR 0.0036 M, se agregaron aproximadamente 0.011g de Mg y 1 mL de HCl concentrado a cada uno y se aforaron en 10 mL de la mezcla etanol-agua (80:20, v/v).

3) Reacción de complejación con aluminio (III):

**Curva de calibración con el método de aluminio (III):** Se prepararon por triplicado 6 soluciones a partir de un stock de NAR  $1.05 \times 10^{-4}$  y se le agregaron 0.5 mL



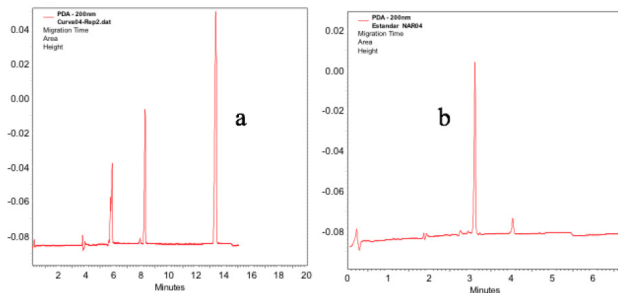
de  $\text{NaNO}_2$  al 5%. A lo anterior se le adicionaron 0.5 mL de  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  al 10% y por último 2.5 mL de  $\text{NaOH}$  al 6% para aforar a 10 mL.

#### Preparación de la muestra vegetal:

Se pesó 1 g de albedo seco de toronja (piel interior blanca de la cascara) y se maceró con 10 mL de etanol-agua (80:20 v/v) durante 30 min a una temperatura no mayor de 30°C asistida por sonicación, se llevó a cabo un segundo lavado con 10 mL de etanol-agua (80:20 v/v). Se juntaron las 2 porciones y de ahí se tomó 1 mL y aforando a 50 mL con  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada, posteriormente se tomaron 4 mL y se aforaron a 10 mL con  $\text{H}_2\text{O}$  desionizada, esta disolución es la que se midió y comparó con las curvas de calibración. (en Shinoda se omitió la dilución 1 mL en 50 mL).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección del estándar interno en CE: La adición de un estándar interno (E.I.) tiene la finalidad de minimizar las diferencias en los tiempos de migración y las alturas de los picos obtenidos; la elección del E.I. más adecuado, consistió en seleccionar un compuesto de estructura similar a los analitos en estudio, que sea de alta pureza, no esté presente de forma natural en la muestra; además, su señal no se vea traslapada con otra y sea lo más gaussiana posible (simétrica), para facilitar su buena integración.



**Figura 2.** Electroferograma de NAR y sus E.I. a) usando soluciones estándar b) en el extracto etanol-agua (80:20) de albedo de toronja

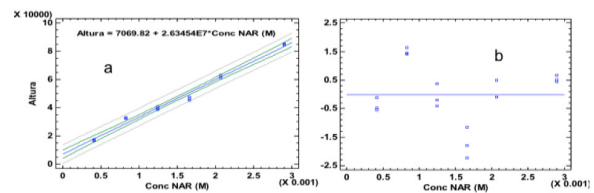
De esta forma se probaron el ácido benzoico y el metilparabeno (Figura 2a). Se observa que la señal del metilparabeno tiene un tiempo de migración menor al del ácido benzoico, por lo que incrementaría en menor grado el tiempo de análisis de la NAR, aunque ambos fueron añadidos a las soluciones de la curva de calibración.

Precisión: De acuerdo a las guías de validación en lo que respecta a los tiempos de migración ( $t_m$ ) se obtuvieron %RSD < 2% (Tabla 2) por lo que es preciso en  $t_m$ .

**Tabla 2.** Precisión (% RSD) para tiempos de migración de NAR y Ácido benzoico.

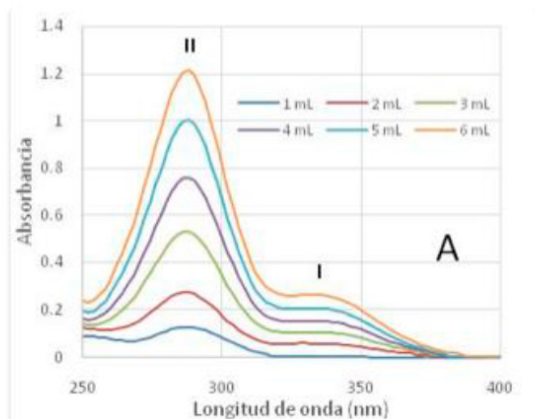
Estándar ( $t_m$ )	Promedio ( $\bar{x}$ )	Desv. Est (s)	%RSD
Naringina	3.8004	0.0231	0.6089
E.I.	7.7132	0.1877	2.4347

Curvas de calibración: Se verificó la validez del modelo lineal obtenido el cual se puede ver en la Figura 3.



**Figura 3.** a) Curva de calibración de NAR medida por EC a 200 nm y b) sus residuales.

Método 1) absorción directa en el UV: En la figura 4 se muestran los espectros de absorción de la naringina a diferentes concentraciones. Existen claramente 2 bandas de mayor absorción correspondientes al máximo de 288 nm de la banda del sistema benzoilo (banda II) y un hombro de menor absorción correspondiente a una longitud de onda de 340 nm que es característico del sistema cina-moilo, (banda I).



**Figura 4.** Espectros de absorción de NAR medido a concentraciones crecientes.

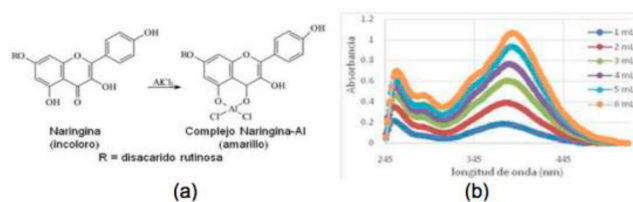
Método 2) Reacción de Shinoda: En la Figura 5 se observan los espectros de absorción del producto de la reducción de la naringina donde se observa un máximo a 553 nm.



**Figura 5.** Espectros de absorción de la reacción de Shinoda con naringina y B) Fundamento de la reacción de Shinoda.

Por lo anterior finalmente, se midió la curva de calibración a un tiempo de 110 min y una longitud de onda de 553 nm.

Respecto al Método 3) Reacción con aluminio: Los espectros de absorción fueron medidos en la curva de calibración naringina-Al (Figura 6), donde se observa que la reacción de complejación formó una banda aproximadamente a 390 nm.



**Figura 6.** a) Reacción de NAR-aluminio y b) Espectros de absorción de NAR medido a concentraciones crecientes.

Comparación entre los diferentes métodos de determinación de Naringina (NAR).

En la Tabla 3 se muestran las ecuaciones obtenidas de las curvas de calibración para la determinación de NAR por EC y por los 3 métodos espectrofotométricos.

**Tabla 3.** Resumen de las características de los métodos para la determinación de NAR.

Método	Ecuación	Comentarios
1) EC	Altura=7060.82+2.6345x10 <sup>7</sup> [Naringina]	Interpolación directa del extracto
2)UV directo	A=0.1340+14,164.8 [Naringina]	Interpolación directa del extracto
3) Shinoda	A =-0.0684+472.1 [Naringina]	Formación de producto colorido y espera de 110 min para completar la reacción
4) Al (III)	A =-0.0110+17,797.4 [Naringina]	Formación de producto colorido y espera de 100 min para completar la reacción

Cabe hacer mención que la concentración de NAR expresada en los 4 métodos es molar. Por lo anterior es posible realizar la comparación de la sensibilidad de cada método espectrofotométrico, observando el valor de las pendientes.

Por lo anterior, podemos decir que si es necesaria la determinación de bajas concentraciones de naringina (trazas) es mejor utilizar el método 4) Formación del complejo con Al (III). Si el contenido de naringina en la muestra vegetal problema es alto, entonces se sugiere utilizar el método 2) UV directo ya el extracto obtenido se interpola directamente en la curva, haciéndolo un método más rápido y barato, sin la necesidad del uso de reactivos adicionales, de igual manera, los resultados provenientes de la cuantificación por medio de la técnica de 1) EC (electroforesis capilar) son muy sensibles y se recomiendan ambos métodos especialmente para la toronja, ya que la muestra de albedo (piel) se caracteriza por contener mayoritariamente naringina, por lo que no hay interferencias de otros polifenoles. En el caso que se necesite analizar muestras con mez-

clas de diferentes polifenoles, donde solo se necesita reportar los flavonoides totales y para evitar interferencias de los demás fenoles, se recomienda utilizar los métodos 3) Shinoda ó 4) complejación con Al (III), ya que sus productos se leen en longitudes de onda del visible.

Medición de la muestra vegetal: Se realizó la medición del extracto vegetal (apartado preparación de muestra) para evaluar el contenido de NAR en el albedo de Toronja.

Método	mg / 1 g Albedo	S	%RSD
1) EC	70.2442	0.0024	3.42
2) Uv-Directo	77.4787	2.3966	3.09
3) Shinoda	24.8638	1.8175	7.31
4) Aluminio	29.9190	1.7556	5.87

**Tabla 2.** Resultados de las concentraciones de polifenoles en el extracto de albedo a las diferentes condiciones de trabajo.

Con lo anterior se puede ver que el método de EC que es selectivo y el UV directo dan resultados de la misma magnitud, mientras que los métodos 3 y 4 (shinoda y aluminio) subestiman el contenido de NAR. Cabe hacer mención que los métodos 3 y 4 ambos entran en los intervalos de polifenoles totales reportados en literatura para toronja.

## CONCLUSIONES

Se encontraron las condiciones óptimas para la medición de flavonoides totales en muestras vegetales por 4 métodos: 1) EC, 2) UV directo del flavonoide, 3) Reacción de reducción del flavonoide a antocianidina (Shinoda) y 3) Complejación del flavonoide con Al (III). Todas las metodologías presentan ventajas y desventajas, pero teniendo el conocimiento de todas ellas, cuando se pueden utilizar, para qué tipo de muestras, saber el tipo de interferencias que se pueden encontrar, el tiempo con el que se cuenta y la sensibilidad que se requiere, nos brindan la posibilidad de seleccionar el más adecuado para nuestras necesidades.

## AGRADECIMIENTOS

A la D.G.A.P.A, UNAM por el financiamiento otorgado con el Proyecto PAPIME PE204814 titulado: "Actualización y Fortalecimiento de la enseñanza experimental de las asignaturas Farmacognosia y Fitoquímica de la carrera de Licenciado en Farmacia y Licenciado en Bioquímica Diagnóstica".

## REFERENCIAS

- [1] SAGARPA (2018). México, entre los líderes en producción de cítricos a nivel mundial. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/sanluispotosi/boletines/Paginas/BOL1301112.aspx>
- [2] Escobar, M. (2010). Extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras de cítricos producidos en México. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional.
- [3] Zhang J. (2007). Flavonoids in grapefruit and commercial grapefruit juice: concentrations, distribution, and potential health benefits. Proc. Fla. State Hort. Soc. Fl, 120, 292.
- [4] Culebras, M. Gonzalez, J. et al. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. Nutrición Hospitalaria 17, 271-278.).
- [5] Hollman, P.C.H., et al. (1995). Absorption and disposition kinetics of the dietary antioxidant quercetin in man. Free Rad. Biol. Med. 21, 700-707.
- [6] Sriwastako, F., Grupta, H.M. y Bhadaria, B.K. (1996). Allelochemicals of some plants of family Scrophulariaceae. Flora and Fauna Thami. 2(1), 41-42.

## OBTENCIÓN DE LAS HUELLAS DIGITALES DEL EXTRACTO METANOLICO Y ACEITE ESENCIAL DE LA PLANTA AGASTACHE MEXICANA ssp. XOLOCOTZIANA (TORONJIL BLANCO), UTILIZANDO LA TÉCNICA CROMATOGRÁFICA DE CAPA FINA DE ALTA RESOLUCIÓN

Imelda Jaramillo Ugarte, Brígida del Carmen Camacho Enríquez\*, Flora Adriana Ganem Rondero, Erika Alinne Santander García, Mario Arturo Morales Delgado, Alejandra Sánchez Barrera

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>2</sup>Laboratorio de Farmacognosia L-324 Campo 1

[imejaraug@gmail.com](mailto:imejaraug@gmail.com)

### RESUMEN

La metodología desarrollada para la obtención de las huellas digitales del aceite esencial y extracto metanol-agua (80:20), de la planta Agastache mexicana ssp. xolocotziana (toronjil blanco) utilizada popularmente para los "nervios", utilizando la técnica de cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC) permitió obtener los resultados que a continuación se describen. El aceite esencial se obtuvo por hidrodestilación con las condiciones siguientes para obtención del perfil: cromatofolios con fase estacionaria gel de sílice 60F254, fase móvil: tolueno-acetato de etilo (7:0.3); detección con luz UV a 254 nm y anisaldehído-ácido sulfúrico, identificándose los compuestos: pulegona, linalool y mentol en concentraciones 0.2039, 0.1313 y 0.1008 µg/µL respectivamente. El extracto se obtuvo por maceración dinámica con metanol-agua (80:20); como fase estacionaria gel de sílice 60 F254, fase móvil: n-butanol, ácido acético y agua (2:3.5:0.5) y detección con luz UV a 254 y 365 nm y Natural Products- polietilenglicol, identificándose el ácido rosmarínico con una concentración de 0.124 µg/µL.

**PALABRAS CLAVE:** Toronjil blanco, aceite esencial, extracto, maceración, TLC, HPTLC.

### ANTECEDENTES

Cromatografía en capa fina de alta resolución es una técnica instrumental sofisticada que permite una excelente separación, un análisis cualitativo y cuantitativo de una gran gama de compuestos presentes en las plantas, suplementos alimenticios, nutraceuticos, entre otros. Es una técnica que permite efectuar el análisis simultaneo de un gran número de muestras y una serie de estándares usando la técnica de pulverización, utiliza una gran gama de disolventes que son completamente eliminados antes de la detección, el procesamiento de estándares y muestras se lleva a cabo en la misma placa, permitiendo una cuantificación con una mayor pre-

cisión y exactitud. Utiliza métodos de detección selectivos, permitiendo el registro de los espectros in situ en secuencia para lograr una identificación positiva de las fracciones, con una fácil documentación de los resultados obtenidos. Por lo que la convierten en una herramienta para el análisis de plantas y sus productos [4]. Las plantas y sus productos son un mercado sólido en todo el mundo; las plantas continúan siendo una fuente importante de nuevos medicamentos. La venta de productos herbolarios a nivel internacional es un comercio grande y en expansión. Las ventas a nivel mundial se estiman en varios miles de millones de dólares, sin embargo, es necesaria una regulación para garantizar la eficacia terapéutica y la seguridad de los

productos [1]. Estos son mezclas complejas de diferentes grupos de metabolitos secundarios, la uniformidad y consistencia fitoquímica general es fundamental para su eficacia, así como el establecimiento y la aplicación de métodos analíticos. Es indudable que muchos de los conocimientos populares que se van transmitiendo de generación en generación son el origen de muchos de estos productos. México no es la excepción ya que cuenta con una tradición milenaria de uso de una gran variedad de plantas que forman parte de la Medicina Tradicional, entre las que se encuentra el complejo de plantas medicinales llamado "toronjiles" está formado por el toronjil azul (*Dracocephalum moldavica* L.) de origen europeo, el toronjil morado (*Agastache mexicana* Lint. et Epling ssp. mexicana) y por el toronjil blanco (*Agastache mexicana* Lint. et. Epling ssp. xolocotziana) de la familia Lamiaceae. Estrada y cols., identificaron en el aceite esencial del toronjil blanco por Cromatografía de gases- espectrometría de masas a la pulegona, mentona e isopulegona; mientras que por una separación en columna cromatográfica se separaron del extracto metanólico a la acacetina y a la (2-acetil)-7-O-glucosilacetina.

A pesar del intenso uso en la medicina tradicional, las plantas medicinales tienen variaciones en sus marcadores químicos e ingredientes activos en las materias primas, por diferentes factores geo-climáticos y de comercialización, por lo que ha sido necesaria la evaluación de la calidad y la autenticación de las materias primas vegetales y sus productos.

Para garantizar la seguridad y eficacia de los productos manufacturados con hierbas uno de los requisitos es la identidad. La Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos (FHEUM), señala a la cromatografía en capa fina (TLC), como un método general de análisis que proporciona una "huella digital" para caracterizar e identificar los compuestos presentes en un extracto [8], sin embargo, como anteriormente se puntualizó la HPTLC es una técnica que ofrece mayores ventajas.

## OBJETIVO

Desarrollar una metodología por la técnica de Cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC) para obtener el perfil de huellas dactilares del aceite esencial y extracto hidroalcohólico de la especie *Agastache mexicana* (Kunth.) Lint. & Epling ssp. xolocotziana (toronjil blanco).

## METODOLOGÍA

Se adquirió la materia prima vegetal (toronjil blanco) en el mercado "Sonora" de la Ciudad de México. Un espécimen se envió al Herbario IZTA de la FES-Iztacala para su identificación. El procesamiento de la materia prima vegetal consistió en: conservación por desecación natural a la sombra, molienda, clasificación del polvo y extracción. El aceite esencial se extrajo por dos métodos: Arrastre de vapor e hidrodestilación, mientras que la obtención del extracto metanol-agua fue por maceración estática y dinámica.

El procedimiento que se siguió para el Aceite Esencial (AE) fue:

- > Se seleccionó técnica de extracción a utilizar (arrastre de vapor o hidrodestilación).
- > Se realizaron las siguientes pruebas de control de calidad:
  - o Pruebas sensoriales (olor y color)
  - o Pruebas fisicoquímicas (densidad, índice de refracción y rendimiento)
  - o IR

Procedimiento para el extracto

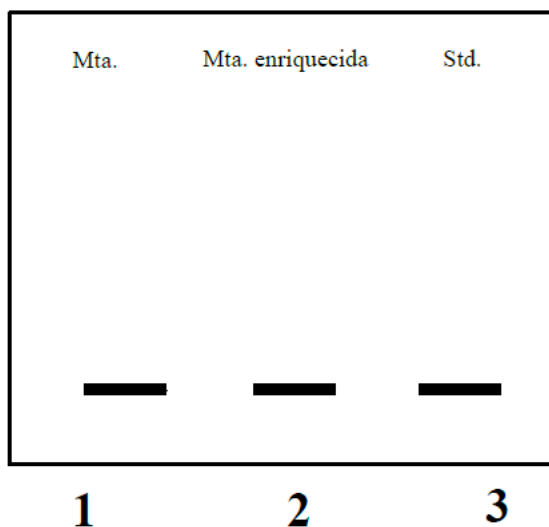
- > Se ensayaron las técnicas de maceración estática y dinámica para la obtención del extracto con los siguientes disolventes: hexano, acetato de etilo, etanol-agua (70:30) y metanol-agua (80:20).
- > Tamizaje fitoquímico, que consistió en pruebas a la gota para identificar de forma presuntiva los grupos químicos presentes.
- > Se seleccionó el método de extracción y disolvente.
- > Se ensayaron extracciones consecutivas para establecer el número de extracciones a realizar.

Para desarrollar el método cromatográfico de AE y extracto se siguieron los pasos que a continuación se detallan:

- > Desarrollo del perfil cromatográfico por medio de HPTLC. Se utilizó en todo el proyecto como fase estacionaria cromatofolios de gel de sílice 60 F254.
- o Monitoreo manual: Se buscaron las condiciones experimentales, como fase móvil y tipo de revelador.
- o Monitoreo automatizado: Con las condiciones experimentales ya establecidas, se apli-

caron las muestras en banda en la placa cromatográfica utilizando el equipo HPTLC ATS 4 y para la detección se utilizó el Detector de HPTLC, TLC Scanner 3 CAMAG®.

> Para la identificación de compuestos por la prueba de especificidad se aplicaron en banda las muestras en la placa, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Orden de aplicación de las muestras en la placa

Nota: Se aplicó la misma cantidad de muestra problema en el carril 1 y 2; donde la muestra enriquecida significa muestra con estándar y en el carril 3 se aplicó el estándar (std)

> Cuantificación de compuestos por medio de una curva de calibración con 5 puntos por triplicado y evaluando los parámetros estadísticos que se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros estadísticos y criterios de aceptación

Parámetro estadístico de la regresión	Criterio de Aceptación
$R^2$	$R^2 \geq 0.98$
IC ( $\beta_0$ )	IC ( $\beta_0$ ) Debe incluir a cero
%CV	$CV \leq 5\%$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Droga Oficial:**

*Agastache mexicana* (Kunth.) Lint. & Epling. ssp *xolocotziana*

Análisis macroscópico: hierba con tallos cuadrados, hojas en forma de lanza y borde dentado y flores blancas agrupadas en forma de racimo (figura 2).



**Figura 2.** Ejemplar de herbario del toronjil blanco bajo resguardo del herbario IZTA FES-Iztacala

### Resultados para el aceite esencial

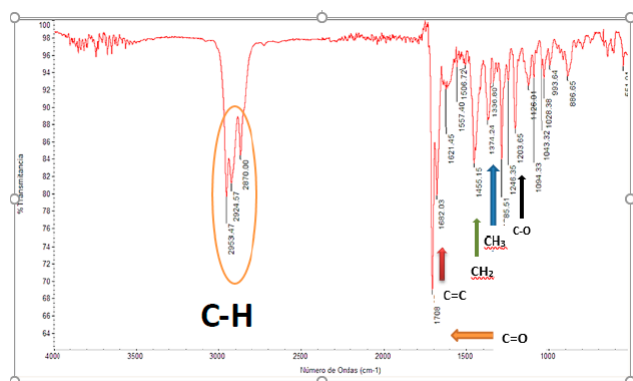
Selección del método: El aceite esencial se obtuvo a partir de la parte aérea de la planta por hidrodestilación debido a que por arrastre de vapor el rendimiento fue muy bajo.

Control de calidad del AE: líquido translúcido ligeramente amarillento y olor floral que corresponde con las especificaciones de la FHEUM (SSA 2013).

**Tabla 2.** Propiedades fisicoquímicas del AE

Nombre de la propiedad	Experimental	Referencia
Densidad (20°C)	0.891±0.02	0.8886[5]
Índice de Refracción (20°C y 25°C) respectivamente	1.465 y 1.473	1.4658 a 20°C [2]
Rendimiento (%)	1.14	0.9-1.2[2]

Como se observa en la tabla 2 los valores obtenidos están de acuerdo con los valores de referencia.

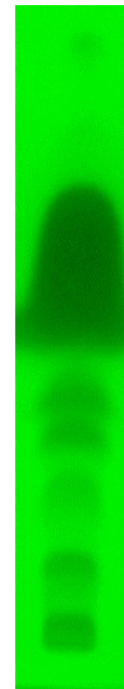
**Figura 3.** IR del AE

**Espectroscopia Infrarroja:** En el espectro infrarrojo observan las bandas correspondientes a los siguientes grupos funcionales con sus frecuencias:  $\nu(\text{cm}^{-1})$ : -OH st (3650); C-H st (2953.7-2870); C-O st (1708.37); C=C st (1682.03); -CH(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>  $\delta$  sy (1374.24); CH<sub>2</sub>  $\delta$  (1455.15); -C-O st (1203.65). Grupos funcionales presentes en los compuestos identificados en el perfil cromatográfico.

**Tabla 3.** Condiciones experimentales para el perfil cromatográfico de AE por HPTLC

Soporte:	Gel de sílice 60 F <sub>254</sub>
Fase móvil:	Tolueno-acetato de etilo (7:0.3), con saturación de cámara de 30 min.
Preparación de la muestra:	Aplicación directa del aceite esencial
Aplicación de la muestra:	En forma de banda con una longitud de 4 mm
Detección:	Directa luz UV a 254 nm y derivatización con anisaldehído-ácido sulfúrico.

A continuación se muestran los perfiles obtenidos del AE, figura 4 y 5

**Figura 4.** Perfil cromatográfico del aceite esencial, revelado con anisaldehído-ácido sulfúrico**Figura 5.** Perfil cromatográfico del aceite esencial, revelado con luz UV 254 nm

### Identificación de compuestos

Para la identificación de compuestos se utilizó la prueba de especificidad, en la que se comparó la longitud de onda máxima y R<sub>f</sub> del estándar con las muestras y se seleccionaron las bandas que correspondían al mismo valor de R<sub>f</sub> y longitud del estándar. También se consideró que hubiera un aumento del área bajo la curva (ABC) de la muestra enriquecida en comparación de la muestra sola, lográndose identificar los siguientes compuestos (tabla 4)

**Tabla 4.** Resultados de los R<sub>f</sub> y Longitudes de onda máxima de los estándares identificados en el AE

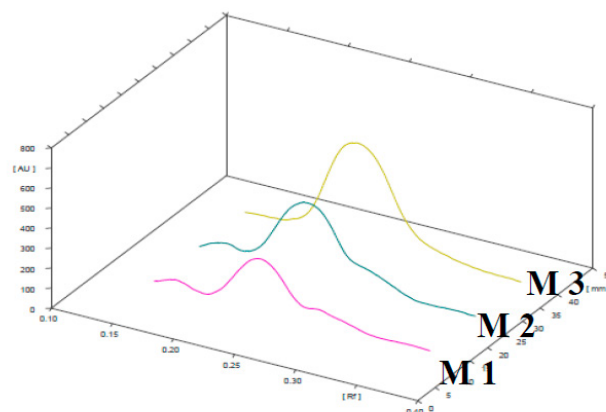
Nombre	R <sub>f</sub> Experimental	R <sub>f</sub> Referencia	$\lambda$ máx. experimental
Pulegona	0.47	0.48[6]	267
Mentol	0.28	0.28[6]	587
Linalool	0.34±0.02	0.33[6]	430

Para la especificidad de cada compuesto identificado se siguió un procedimiento similar. A continuación, se muestra para el mentol, por razones de espacio. En la figura 6 se observa el cromatograma utilizado en la prueba de especificidad. Se ven tres carriles, el primero es el perfil del aceite esencial obtenido en las condiciones antes descritas, el segundo es el perfil del aceite esencial al que se adicionó el estándar de mentol (muestra enriquecida) y el tercero corresponde al mentol solo y como se nota que tienen el mismo Rf. También se obtuvo el densitograma (figura 7) de la placa (figura 6) y se advierte un aumento en el área bajo la curva de la muestra enriquecida (M2) si se compara con la del aceite esencial solo (M1).



**Figura 6.** Prueba de especificidad de mentol

Nota: M1 aceite esencial, M2 aceite esencial con mentol y M3 el estándar de mentol



**Figura 7.** Densitograma de la prueba de especificidad del mentol

**Tabla 5.** Áreas bajo la curva de la prueba de especificidad del mentol correspondiente al densitograma

Muestra	ABC
Aceite esencial	9701.6
AE + mentol	19422.1
Mentol	26745.1

Par cuantificar los compuestos químicos identificados se utilizó una curva de calibración con los resultados que se muestran en la tabla 6

**Tabla 6.** Cuantificación de los compuestos en el AE

Componentes	ABC en el AE	Concentración en $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ del aceite esencial
Mentol	1672.1	0.1008
Pulegona	1720.7	0.2039
Linalool	857.8	0.1313

Para la obtención del extracto se utilizaron las flores previamente secas y trituradas. Se obtuvieron los extractos con los diferentes disolventes mencionados en la metodología. Se les realizó las pruebas preliminares siendo de interés las de compuestos polifenólicos (cloruro férrico, shinoda y amoniaco), debido a que Estrada y cols. (2004), en el extracto metanólico de los toronjiles blanco y morado identificó por HPLC los flavonoides acacetina y (2-acetil)-7-O-glucosilacetina. Las pruebas dieron resultado positivo en el extracto



metanol-agua (80:20) de los dos métodos de extracción ensayados (maceración estática y dinámica) pero por tiempo y menor cantidad de muestra y disolventes se seleccionó la maceración dinámica como método de extracción.

Cómo la maceración es un método de extracción con disolventes discontinuo se determinó el número de extracciones a realizar analizando el densitograma correspondiente a cada cromatograma obtenido de cada extracción, en donde se buscaba la desaparición de picos en la parte desarrollada del cromatograma, teniendo como resultado que a la cuarta extracción ya no había aparición de estos, por lo que se tomó la decisión, que con tres extracciones era suficiente.

**Tabla 7.** Condiciones experimentales para el perfil cromatográfico del extracto metanol-agua (80:20) por HPTLC

Soporte	Gel de sílice 60 F <sub>254</sub>
Fase móvil	n-butanol, ácido acético y agua 2:3.5:0.5 (saturar la cámara por 30 minutos).
Detección	Natural Products-polietilenglicol (NP/PEG)
Preparación de la muestra	Pesar 100 mg de muestra y adicionar 2 mL de metanol y 0.5 mL de agua. Macerar por 20 min (3 veces). Separar el marco agotado por centrifugación a 2500 rpm por 5 min. Reservar el sobrenadante.
Aplicación de la muestra	En forma de banda con una longitud de 4 mm
Detección	Directa luz UV a 254 y 365 nm y derivatización con Natural Products-polietilenglicol (NP/PEG)

Los perfiles cromatográficos obtenidos del extracto metanol-agua de las flores de toronjil blanco revelados con NP/PEG UV 365 nm (figura 8), UV 254 nm (figura 9) y UV 365 nm (figura 10).



*Figura 8* Perfil cromatográfico del extracto revelado con NP/PEG UV 365 nm



*Figura 9* Perfil cromatográfico del extracto revelado con luz UV 254 nm



*Figura 10* Perfil cromatográfico del extracto revelado con luz UV 365 nm

Se ensayaron los estándares existentes en el laboratorio de Farmacognosia, entre ellos acacetina y no se detectó su presencia. Por lo que el único identificado fue el ácido rosmarínico mediante la prueba de especificidad, en el que se obtuvieron los valores mostrados en la tabla 8.

**Tabla 8.** Valor de Rf y longitud de onda del ácido rosmarínico identificado

Nombre	Rf	Longitud de onda máxima
Ácido rosmarínico	0.86	380

Procediendo a su cuantificación de igual manera que en el aceite esencia utilizando una curva de calibración teniendo como resultado 0.124 µg/µL en el extracto metanol-agua de las flores de toronjil blanco.

## CONCLUSIONES

La especie vegetal fue identificada como *Agastache mexicana* ssp. *xolocotziana* de la familia *Lamiaceae*, con nombre común toronjil blanco.

Los métodos de extracción que se seleccionaron fueron: para el aceite esencial hidrodestilación y para el extracto metanol-agua (80:20) por maceración dinámica, la primera por rendimiento y la segunda en base a los resultados experimentales obtenidos.

Se obtuvo el perfil de huellas dactilares del aceite esencial por HPTLC con las condiciones: Fase móvil tolueno-acetato de etilo (7:0.4). Sistema de detección: anisaldehído-ácido sulfúrico y luz UV a 254 nm. Se identificaron y cuantificaron en el aceite esencial los compuestos: pulegona (0.2039  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ ), linalol (0.1313  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ ) y mentol (0.1008  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ ).

El perfil de huellas dactilares en el extracto metanol-agua (80:20) por HPTLC con las siguientes condiciones: Fase móvil n-butanol-ac. acético-agua (2:3.5:0.5) y como detección el reactivo Natural Products-polietilenglicol (NP/PEG) y luz UV a 254 y 365 nm. En el extracto metanol-agua se identificó y cuantificó al ácido rosmarínico en una concentración de 0.124  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ .

## AGRADECIMIENTOS

PROYECTO PAPIME (PE204118): Actualización y fortalecimiento de la enseñanza experimental de las asignaturas: FITOQUÍMICA Y FARMACOGNOSIA Y FITOFÁRMACOS de la licenciatura en Química Industrial.

## REFERENCIAS

- [1] Alamgir, A.N.M. (2017). *Therapeutic Use of Medicinal Plants and their extracts: Volume 1 Pharmacognosy*. Switzerland: Springer International Publishing AG.
- [2] Estrada, R., García, A., Aguirre, E. y Soto M. (2004). Comparative chemical composition of *Agastache mexicana* subsp. *mexicana* and *A. mexicana* subsp. *xolocotziana*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 32(7), 685-694.
- [3] Lock de Ugaz, O. (2010). *Análisis Fitoquímico y Metabolitos Secundarios*. 41. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- [4] Patel, Rashmin B., Mrunali R. Patel, y Bharat G. Batel (2011). *Experimental Aspects and Implementation of HPTLC*. En *High-Performance Thin-Layer Chromatography (HPTLC)*. India: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [5] Pérez Santiago, América Jannine, y Ana Luisa Silva Castañeda. (2015). *Ensayo in vitro de la actividad inhibitoria de radicales libre de aceites esenciales*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.
- [6] Reich, Eike, y Anne Schibli. (2007). *High-Performance Thin-Layer Chromatography for the Analysis of Medicinal Plants*. New York: Thieme.
- [7] Sharapin, Nikolai. (2000). *Fundamentos de Tecnología de Productos Fitoterapéuticos*. Colombia: Convenio Andrés Bello.
- [8] SSA. (2013). *Farmacopea Herbolaria de los Estados Unidos Mexicanos*. Ciudad de México: Secretaria de Salud.
- [9] Wagner, H, y S Bladt. (2009). *Plant Drug Analysis: A Thin Layer Chromatography Atlas*. New Delhi: Thompson Press (Springer).

## NANOTUBOS DE HALOISITA MAGNÉTICOS CON INCREMENTO EN SU ÁREA SUPERFICIAL PARA LA OXIDACIÓN DE ALCOHOLES BENCÍLICOS EN MEDIO ACUOSO

María Elena Gutiérrez Pérez<sup>1</sup>, Julio César Morales Mejía<sup>1</sup>, Guadalupe Iveth Vargas Rodríguez<sup>1</sup>, José Álvaro Chávez Carvayar<sup>2</sup>, Antonio Gómez Córtes<sup>3</sup>, Graciela Delgadillo<sup>1</sup>, Yolanda Marina Vargas Rodríguez\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán -UNAM.

<sup>2</sup>Instituto de Investigación en Materiales, UNAM,

<sup>3</sup>Instituto de Física, UNAM

mmjc\_80@yahoo.com.mx, ficodos\_1304@hotmail.com, gradel0608@hotmail.com,  
ymvargas@unam.mx, josech@unam.mx, gomez@fisica.unam.mx

### RESUMEN

Las reacciones Fenton han sido exitosas en el tratamiento de aguas residuales altamente contaminadas provenientes de la industria cosmética, química, plantas de energía, entre otras. En este estudio se sintetizó un nanocatalizador magnético por el método de co-precipitación partiendo de una haloisita con área superficial incrementada. El material obtenido se caracterizó por medio de la técnica de adsorción-desorción de  $N_2$ , difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB). Se llevó a cabo la degradación del alcohol 4-metoxibencílico en presencia del nanocatalizador magnético,  $H_2O_2$  y agua realizando así reacciones Fenton heterogéneas. Se modificaron las temperaturas de reacción y se siguió la cinética de degradación del alcohol bencílico por demanda química de oxígeno (DQO) observando una óptima degradación después de 4 h y a una temperatura de 70°C.

**PALABRAS CLAVE:** Oxidación de alcoholes, oxidación Fenton, Haloisita magnética.

### ANTECEDENTES

El tratamiento de las aguas residuales industriales ha sido, durante un largo tiempo, un problema ambiental de gran relevancia. Muchas actividades industriales, en particular las químicas, generan una amplia variedad de contaminantes orgánicos tóxicos y no biodegradables tal como el fenol, benceno, anilinas, clorofenoles entre otros.

Los procesos de oxidación avanzados (APOs) han mostrado un gran potencial en el tratamiento de aguas residuales industriales éstos generan radicales hidroxilo suficientes para oxidar los contaminantes orgánicos.

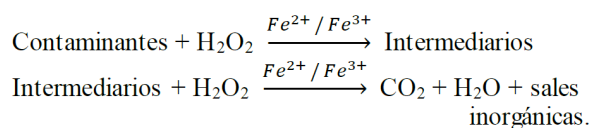
Las reacciones Fenton son uno de los APO más rentables.

El proceso Fenton convencional está basado en la generación de radicales hidroxilo provenientes de la descomposición del peróxido de hidrógeno en presencia de iones  $Fe^{2+}$  y condiciones ácidas, convirtiéndose en iones  $Fe^{3+}$ .

El proceso Fenton incluye muchas reacciones, pero se clasifica principalmente en las siguientes:

Etapa	Reacción
Iniciación	$\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{HO}\cdot + \text{OH}^-$ $\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{HOO}\cdot + \text{H}^+$
Propagación	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HO}\cdot \rightarrow \text{HOO}\cdot + \text{H}_2\text{O}$ $\text{RH} + \text{HO}\cdot \rightarrow \text{R}\cdot + \text{H}_2\text{O}$ $\text{R}\cdot + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{RH} + \text{Fe}^{3+}$
Terminación	$\text{R}\cdot + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{R}^+ + \text{Fe}^{2+}$ $\text{R}\cdot + \text{R}\cdot \rightarrow \text{R-R}$ $\text{Fe}^{3+} + \text{HOO}\cdot \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + \text{H}^+$ $\text{Fe}^{2+} + \text{HO}\cdot \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^-$ $\text{Fe}^{2+} + \text{HOO}\cdot \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2$
Terminación	$\text{HOO}\cdot + \text{HOO}\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$ $\text{HO}\cdot + \text{HO}\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ $\text{HO}\cdot + \text{HO}\cdot \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$

La oxidación de contaminantes orgánicos conduce a la formación de especies intermediarias, las cuales pueden promover la oxidación hasta  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y sales inorgánicas. Por lo tanto, el proceso puede describirse en los siguientes pasos:



Al uso de catalizadores sólidos en los procesos Fenton se le llama oxidación catalítica húmeda con peróxido (CWPO) u oxidación Fenton heterogénea. El uso de catalizadores soportados permite incrementar el área superficial de las especies metálicas al proporcionar una matriz que permita la dispersión de partículas muy pequeñas. (Munoz, y otros 2015).

Se han utilizado diversos soportes para las reacciones Fenton heterogéneas principalmente los pilares arcilla, seguido de las zeolitas y sílice. Los materiales magnéticos utilizados como catalizadores en CWPO pueden clasificarse generalmente en 3 grupos: minerales magnéticos naturales, magnetita soportada y nanopartículas magnéticas (MNPs).

El uso industrial de las arcillas minerales está estrechamente relacionado con sus propiedades superficiales. Muchos métodos han sido sugeridos para mejorar las propiedades superficiales de los materiales de arcilla incluyendo activación mecanoquímica, intercalación, tratamiento termoquímico y activación química. (Zhang, y otros, 2012).

La haloisita es una arcilla mineral de aluminosilicatos con una estructura nanotubular, de estequiometría  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  y es obtenida de forma natural en el medio ambiente. (Xie, Qian, Wu, & Ma, 2011).

## OBJETIVO

Sintetizar y caracterizar un nanocatalizador de óxidos de hierro a partir de haloisita con área superficial incrementada, por el método de co-precipitación, promoviendo reacciones Fenton heterogéneas para la oxidación de alcoholes bencílicos.

## METODOLOGÍA

Tratamiento ácido-térmico: los nanotubos de haloisita (NTHs) se acidificaron con  $\text{HCl}$  0.5 M en un sistema de reflujo con agitación constante durante 2 horas a  $80^\circ\text{C}$ . Después los NTHs 0.5 M se lavaron, se filtraron y se secaron a  $80^\circ\text{C}$ .

Síntesis del catalizador magnético: los NTHs 0.5 M, se mezclaron con  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{FeCl}_3$ , se adicionó lentamente  $\text{NH}_4\text{OH}$  hasta  $\text{pH}=9$ . Se dejó con agitación constante durante 2 horas a  $75^\circ\text{C}$ . Se filtró y se secó a  $80^\circ\text{C}$ .

Reacciones Fenton heterogéneas: se prepararon sistemas cerrados adicionado; el nanocatalizador NTHs/ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , alcohol 4-metoxibencílico y  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Se dejaron en agitación constante en baños de agua a temperaturas de 20,30, 40 y  $70^\circ\text{C}$ , durante 1- 4 horas.

Demanda química de oxígeno (DQO): al terminar las reacciones Fenton se colocaron en tubos de digestión, se les adicionó solución catalizadora y de digestión, se realizó la digestión durante 2 horas a  $150^\circ\text{C}$ . Finalmente se leyeron las muestras en el espectrofotómetro UV-Vis a 600 nm.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la microscopía electrónica de barrido (MEB) se muestran las estructuras tubulares de la haloisita (NTHs) (Fig. 1).

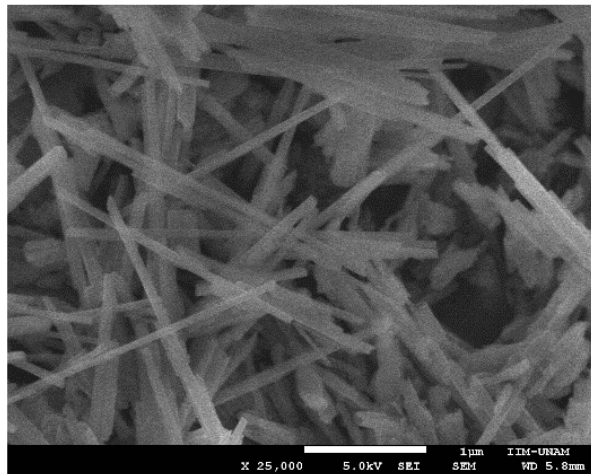


Figura 1. Micrografía de los nanotubos de NTHs.

Las fases cristalinas presentes en el catalizador fueron determinadas utilizando el patrón de difracción de rayos X, fue posible identificar la metahaloisita (nanotubos de haloisita deshidratada), mediante las reflexiones  $d_{001}=7.4700$ ,  $d_{020} = 4.4436$   $d_{110} = 4.4005$  y  $d_{-112} = 3.0844$  (Fig.2.a).

En la (Fig.2.b) se presenta el patrón de difracción del nanocatalizador NTHs/ $Fe_2O_3$  el cual está constituido por maghemita y se identifica mediante las reflexiones  $d$  (2.965 Å),  $d$  (2528 Å) y  $d$  (1.478 Å).

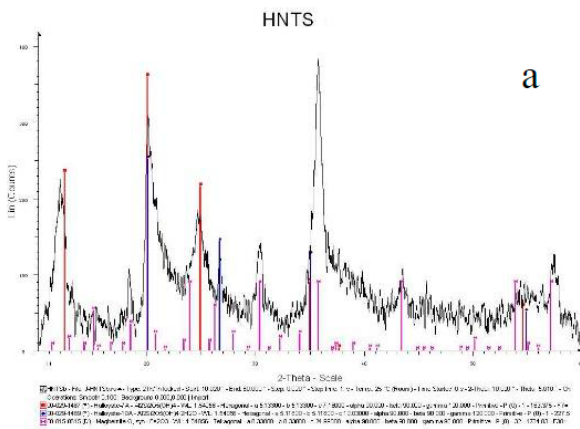


Figura 2. (a) Patrón de difracción de Rayos X de los NTHs.

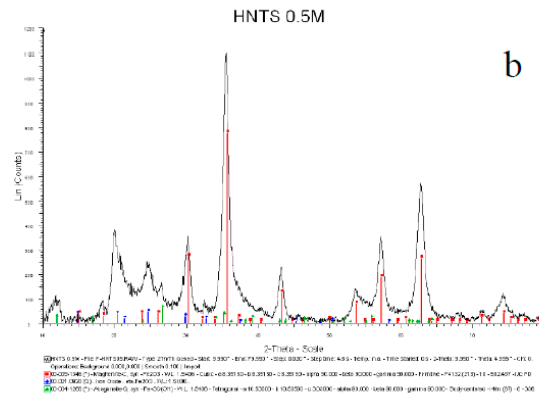
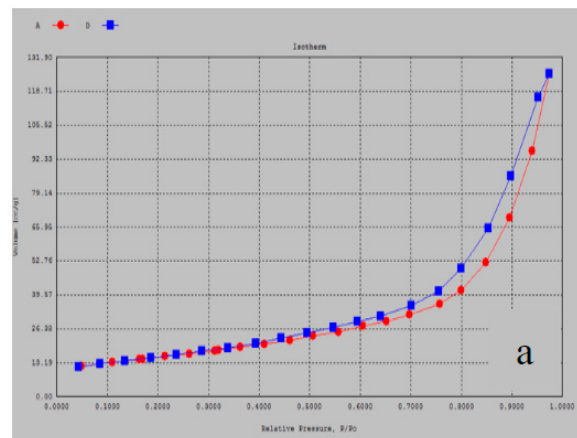


Figura 2. (b) Patrón de difracción de Rayos X del nanocatalizador NTHs/ $Fe_2O_3$ .

En la caracterización de adsorción y desorción de  $N_2$  mediante el método de BET tanto para los NTHs (Fig.3.a), la haloisita modificada (Fig.3.b) y el nanocatalizador NTHs/ $Fe_2O_3$ . (Fig.3.c) se muestran isothermas tipo III.

Se analizó el incremento en el área superficial de la haloisita la cual, después del tratamiento ácido-térmico, aumentó de 54.42 a 73.05  $m^2/g$ . El área superficial del catalizador magnético fue de 82.64  $m^2/g$  y un volumen total de poro de 0.2537  $cm^3/g$ . Analizando la distribución de tamaño de poro para los NTHs/ $Fe_2O_3$ , por el método BJH, se presentan tamaños de poro de 1.6 a 54 nm indicando la presencia de mesoporos y macroporos, pero es importante destacar que la mayor distribución se encuentra en el intervalo de los mesoporos, el volumen máximo se localiza en 0.3436  $cc/g$  con un máximo de poro en 17.63 nm.



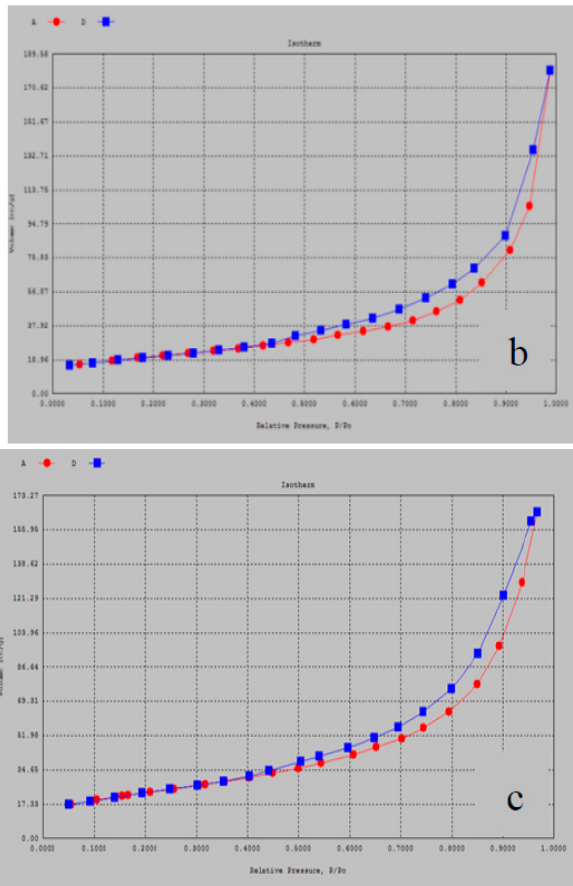


Figura 3. Isotherma de adsorción y desorción de N2: a) NTHs; (b) NTHs modificados y c) nanocatalizador NTHs/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

En la (figura 4.a) se presenta los porcentajes de degradación del alcohol 4-metoxibencílico que se siguió por DQO.

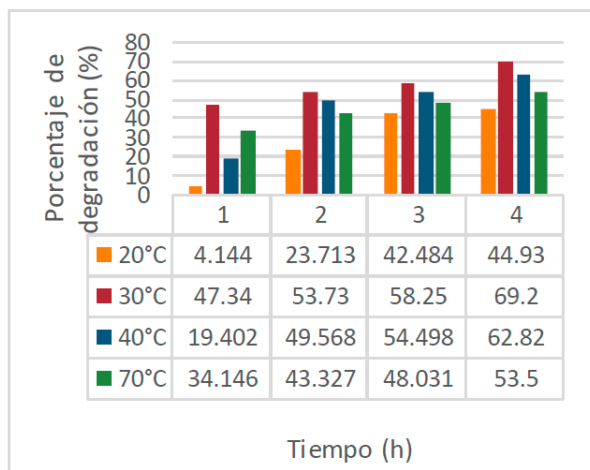


Figura 4. (a) Porcentajes de degradación del alcohol 4-metoxibencílico a diferentes temperaturas

En la (fig. 4.b) se muestra el efecto de temperatura en el porcentaje de la degradación que corresponden a un tiempo de reacción de 4 horas, se observa que a 20°C se degrada el 44.93% de la concentración inicial de alcohol y a 30°, 40° y 70°C, se degrada el 69.2, 62.82 y 53.5% respectivamente. Se observa un máximo de degradación a 30°C.

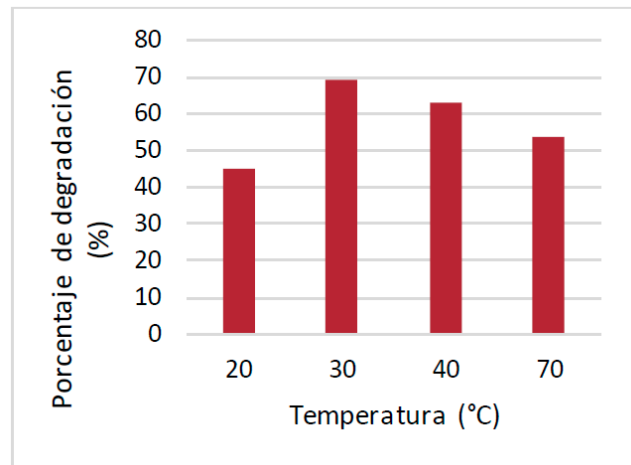


Figura 4. (b) Porcentajes máximos de degradación del alcohol 4-metoxibencílico a diferentes temperaturas

### CONCLUSIONES

Se aumentó el área superficial de los nanotubos de haloisita, se sintetizó y caracterizó un nanocatalizador NTHs/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> para realizar reacciones Fenton heterogéneas.

Se logró la oxidación del alcohol 4-metoxibencílico obteniendo las condiciones óptimas (69.2%) a una temperatura de 30°C y 4 horas de reacción. La degradación no se lleva a cabo al 100% debido a que los radicales libres pueden estar formando otros compuestos.

### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se llevó a cabo con fondos del proyecto PIAPI 1656.

## REFERENCIAS

- [1] He, J. Yang, X. Men, B. Bi, Z. Pu Y. y Wanh, D. (2014). Heterogeneous Fenton oxidation of catechol and 4-chlorocatechol catalyzed by nano-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>: Role of the interface. *Chemical Engineering Journal*, 258, 433-441.
- [2] Paul, B. Bhuyan, B. Purkayastha D. y Sankar D. S. (2015). Facile synthesis of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles and their catalytic activity in oxidation of benzyl alcohols with periodic acid. *Catalysis Communications*, 69, 48-54.
- [3] Centi, G. Perathoner, S. Torre T. y Verduna, M. (2000). Catalytic wet oxidation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> of carboxylic acids on homogeneous and heterogeneous Fenton-type catalyst. *Catalysis today*, 55, 61-69.
- [4] Chen, L. Zhou, C. H. Fiore, S. Tong, D. S. Zhang, H. Sheng Li, C. Ji S. F. y Yu, W. H. Y. (2016). Functional magnetic nanoparticle/clay mineral nanocomposites: preparation, magnetism and versatile applications. *Applied Clay Science*, 127-128, 143-163.
- [5] Hassan Atashin. (2013). Magnetic iron oxide nanoparticles embedded in SBA-15 silica wall as a green and recoverable catalyst for the oxidation of alcohols and sulfides. *Journal of Saudi Chemical Society*, 21(1), S17-S24.
- [6] Munoz, M., de Pedro, Z. M., Casas J. A. y Rodriguez, J. J. (2015). Preparation of magnetite-based catalysts and their application in heterogeneous Fenton oxidation – A review. *Applied Catalysis B: Environmental*, 176-177, 249-265.
- [7] Belkassa, K., Bessaha, F., Marouf-Khelifa, K., Baton-neau-Gener, I., Camparot y A. Khelifa, J.D. (2013). Physicochemical and adsorptive properties of a heat-treated and acid-leached Algerian halloysite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 421, 26-33.
- [8] Zhang, A.-B., Pan, L., Zhang, H.-Y., Liu, S.-T., Ye, Y., Xia, M.-S., & Chen, G.-C. (2012). Effects of acid treatment on the physico-chemical and pore characteristics of halloysite. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 396, 182-188.

## ÓXIDOS DE HIERRO SOPORTADOS EN UNA BENTONITA ACTIVADA COMERCIAL Y SU EVALUACIÓN CATALÍTICA EN LA OXIDACIÓN DEL ALCOHOL 4-METOXIBENCÍLICO

Gabriela Tapia-Morales<sup>1</sup>, José Luis Arias Téllez<sup>1</sup>, José Álvaro Chávez-Carvayar<sup>2</sup>, Antonio Gómez-Cortés<sup>3</sup>  
Luis Barbo Portilla<sup>4</sup> & Yolanda Marina Vargas-Rodríguez<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químicas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

<sup>2</sup>Instituto de Investigación en Materiales, UNAM.

<sup>3</sup>Instituto de Física, UNAM.

<sup>4</sup>Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM.

[ymvargas@unam.mx](mailto:ymvargas@unam.mx), [josech@unam.mx](mailto:josech@unam.mx), [gomez@fisica.unam.mx](mailto:gomez@fisica.unam.mx), [lbarbo@unam.mx](mailto:lbarbo@unam.mx)

### RESUMEN

Para la oxidación heterogénea de Fenton, se han desarrollado catalizadores de óxidos de hierro que debido a sus propiedades magnéticas permiten una separación rápida y económica, simplificando su recuperación. Para mejorar la actividad catalítica de las nanopartículas magnéticas (MNPs), éstas se soportan en materiales de alta superficie. En este trabajo, se sintetizaron NPM de óxidos de hierro y se soportaron en una bentonita activada. El catalizador se caracterizó por DRX, MEB, MET, IR, ATG y adsorción-desorción de nitrógeno. La actividad MNPs, soportadas, se evaluó en la oxidación del alcohol 4-metoxibencílico, utilizando peróxido de hidrógeno como oxidante. Se estudio el efecto de la cantidad de catalizador y de agente oxidante. Las MNPs, identificadas por DRX corresponden a óxido de hierro(III) y goethita. Las condiciones óptimas para la degradación del alcohol (96%), fueron oxidante/alcohol (40/1), tiempo de reacción de (10 min) y catalizador (5 mg) y temperatura ambiente.

**PALABRAS CLAVE:** Oxidación Fenton Heterogénea, Alcohol bencílico, Bentonita activada, Goethita.

### ANTECEDENTES

La oxidación de alcoholes en el correspondiente compuesto carbonílico, es un campo de investigación importante [1]. Sin embargo, estos métodos sufren de diferentes inconvenientes tales como el uso de reactivos tóxicos y peligrosos que generan grandes cantidades de materiales de desecho [2]. Por esta importante razón se han buscado métodos "verdes" más benignos para el medio ambiente la oxidación del alcohol ha definido u área activa y creciente de interés en los últimos años, especialmente en el campo de la catálisis química [2]. Muchos sistemas catalíticos se han desarrollado utilizando varios catalizadores en combinación con  $H_2O_2$  como oxidante. El peróxido de hidrógeno

es un oxidante verde y muy limpio para realizar oxidaciones en fase líquida, ya que proporciona un alto contenido de especies de oxígeno activo, además el único subproducto que se genera es agua [3] [4] [5]. El proceso de Fenton es un proceso de oxidación avanzada (AOP siglas en ingles) que usa iones ferrosos y peróxido de hidrógeno para la generación del segundo oxidante más potente, es decir, radicales hidroxilo en solución acuosa [6]. El uso de catalizadores sólidos en la oxidación heterogénea de Fenton, en la que el catalizador tiene mayor estabilidad, lo que permite su recuperación y su posterior reutilización [7]. A partir de ello se han desarrollado, para la oxidación Fenton Heterogénea, catalizadores magnéticos que permiten una separación rápida y económica sobre la aplicación



de un campo (magneto-sedimentación) [8]. De hecho, se ha afirmado que el magnetismo de nanopartículas magnéticas (MNPs, por sus siglas en inglés) favorece su agregación, lo que reduce su grado de dispersión. Para mejorar la actividad catalítica de las MNPs de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , estas se han soportado sobre materiales de alta superficie [9]. Dentro de los soportes se han utilizado nanotubos de carbono de pared múltiple (WCNT, por siglas en inglés) grafeno, partículas reactivas de Fe dispersas en una matriz de carbono, espuma de carbono mesocelular, microsferas de carbono porosas magnéticas entre otras. Sin embargo, este tipo de materiales no puede ser aplicado en gran escala. Recientemente, se ha reportado el uso de soportes de tipo bentonítico pilareado, obteniendo buenos resultados para las reacciones Fenton Heterogéneas [9]. La bentonita, es una de las arcillas de tipo esmectita abundante en la naturaleza, que abarca una capa unitaria estructural que consta de dos hojas tetraédricas hacia adentro con una hoja octaédrica central de alúmina. Además, como es bien conocido, las bentonitas al ser tratadas con ácidos minerales incrementan su área superficial específica [9] [10].

### OBJETIVO(S)

Sintetizar óxidos de hierro in situ sobre una bentonita activada y evaluar su actividad catalítica en la oxidación del alcohol 4-metoxibencílico en medio acuoso, para obtener un proceso de oxidación alterno amigable con el medio ambiente.

### PARTE EXPERIMENTAL

**Materiales:** Los reactivos cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) y sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), alcohol 4-metoxibencílico e hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), fueron adquiridos de Sigma-Aldrich y se emplearon sin purificar. La bentonita activada fue adquirida de Minerex y utilizada sin purificar. El agua para todas las reacciones fue desionizada. Las extracciones de las reacciones se realizaron con acetato de etilo. El seguimiento de las reacciones se llevó a cabo por cromatografía de gases. La identificación de los productos se realizó mediante cromatografía de gases de impacto electrónico acoplado a un espectrómetro de masas (CG-Masas). El catalizador fue recuperado por aplicación de un campo magnético, eliminando el proceso de filtración.

**Síntesis del catalizador:** Proceso de patente.

**Caracterización del catalizador magnético:** El catalizador,

se caracterizó por difracción de rayos X utilizando la técnica de polvos, adsorción-desorción de nitrógeno, microscopía electrónica de barrido acoplado a EDS y espectrofotometría de absorción infrarroja.

**Evaluación catalítica:** En un tubo con tapón de rosca, se adicionó 1 mmol de alcohol 4-metoxibencílico, 20 mg de arcilla magnética, 3 ml de agua desionizada y 2 mmoles de peróxido de hidrógeno, bajo agitación magnética. Los experimentos se realizaron a temperatura ambiente. Para encontrar las condiciones ideales de reacción, las variables consideradas fueron tiempo, cantidad de oxidante y catalizador utilizado para oxidar al alcohol 4-metoxibencílico.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se puede apreciar el catalizador obtenido, observándose un polvo fino de color ladrillo.

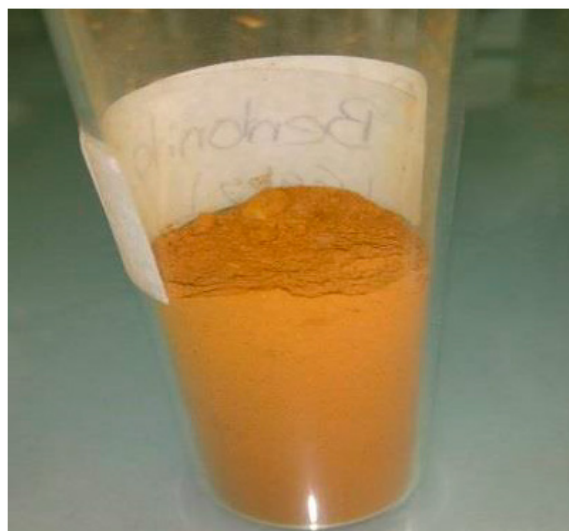


Figura 1. Catalizador sintetizado

#### Caracterización del catalizador

- Difracción de rayos X (DRX)

El patrón de DRX de la bentonita magnética, Figura 2 muestra la presencia de fases cristalinas: bentonita, cuarzo, óxidos de hierro(III) y goethita, las cuales fueron identificadas con las reflexiones características de cada fase comparando con su tarjeta de identificación.

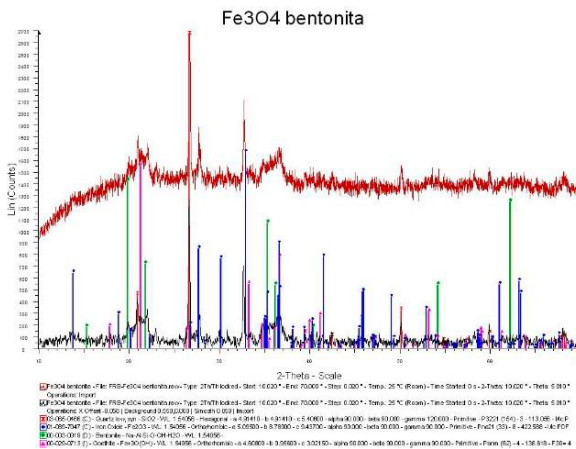


Figura 2. Patrón de difracción de rayos X para la bentonita magnética.

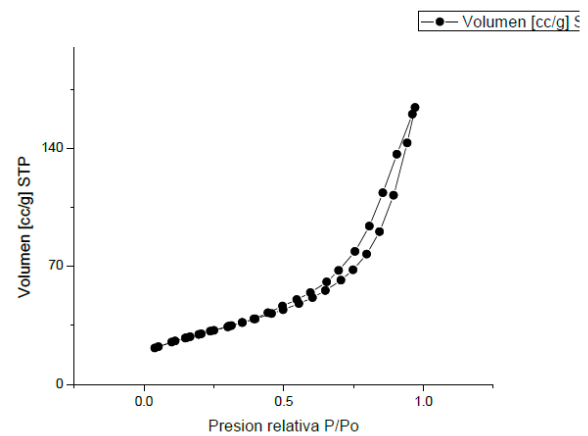


Figura 4. Ciclo de histéresis de adsorción -desorción de nitrógeno del catalizador magnético.

- Microscopia electrónica de barrido acoplado a EDXS

En la Figura 3, se muestra el espectro de dispersión de energía de rayos X de la Bentonita-magnética.

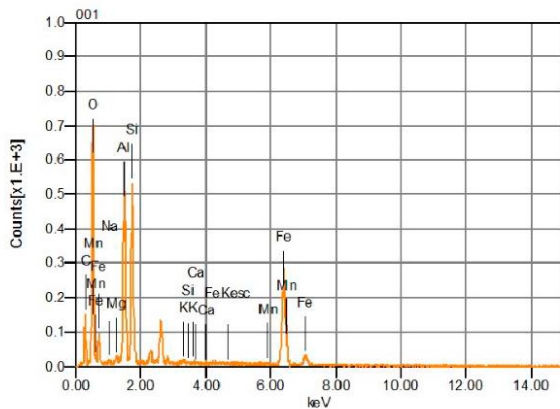


Figura 3. Espectro de dispersión de rayos X

Se identificó principalmente óxidos de hierro (11.32% en mol) correspondientes a los óxidos de hierro (III) y goethita.

- Adsorción-desorción de nitrógeno
- Las propiedades superficiales de la bentonita magnética fueron determinadas mediante la fisorción de nitrógeno; la isoterma de adsorción y la curva de histéresis representadas en la Figura 4.

Empleando el método de BET, se estableció que la bentonita tiene un área específica de 106 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>

- Análisis térmico

Las curvas experimentales del análisis termogravimétrico (ATG) para la bentonita magnética en el intervalo de 20 a 800 °C, se representa en la figura 5. En donde se observa una pérdida de masa en el rango de temperatura de 263 a 282 °C, debido a la conversión de goethita a hematita.

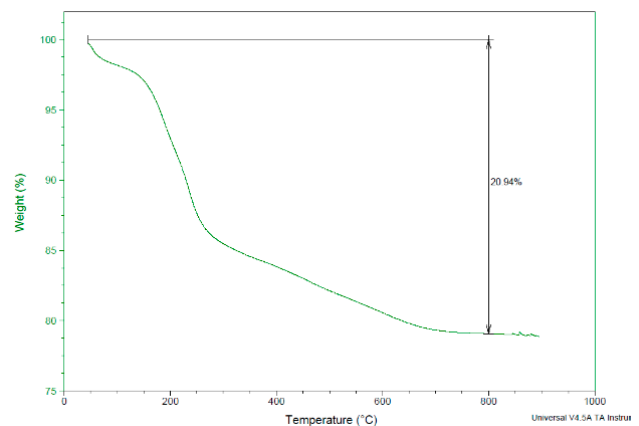


Figura 5. Curva termogravimétrica para la Bentonita-magnética

- Espectrofotometría de absorción infrarroja
- El Espectro de IR experimental para la bentonita-magnética se muestra en la figura 6.

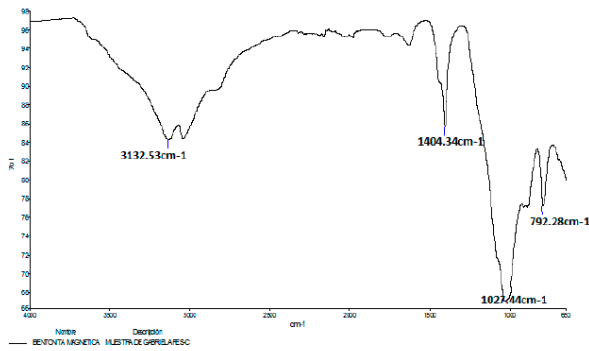


Figura 6. Espectro de IR del catalizador

Se identificaron las siguientes bandas, mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Grupos funcionales del catalizador

Grupo Funcional	Frecuencia Teórica (cm <sup>-1</sup> )	Frecuencia experimental (cm <sup>-1</sup> )
Si-OH	870-820	792.28
Si-O	1100-1000	1027.44
Si-OH	3700-3200	3132.53

• Evaluación catalítica de la bentonita magnética en la oxidación de alcohol 4-metoxibencilico Utilizando la curva de calibración patrón interno para el alcohol 4-metoxibencilico y los datos de áreas obtenidos por la inyección de muestras al cromatógrafo de gases, se determinó la concentración del alcohol 4-metoxibencilico a en diferentes condiciones de reacción. La variación de los mmol de peróxido se ejemplifica en la figura 7.

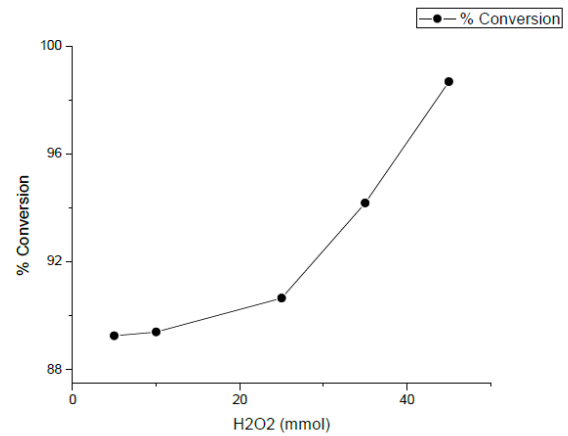


Figura 7. Variación de mmol de peróxido de hidrogeno.

Como otra variable experimental fue modificar los mg de catalizador, como se muestra en la siguiente figura 8.

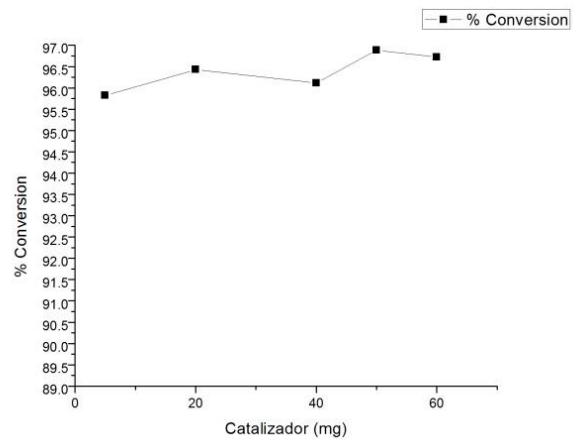


Figura 8. Efecto de la cantidad del catalizador

Utilizando las mejores condiciones se realizó una cinética durante 180 minutos, en los primeros 60 minutos se tomaron muestras cada 10 minutos arrojando los siguientes datos experimentales que se encuentran en la siguiente tabla.

En la figura 9 se observa que la oxidación máxima se obtiene a partir de 10 minutos de reacción con las condiciones experimentales previamente establecidas.

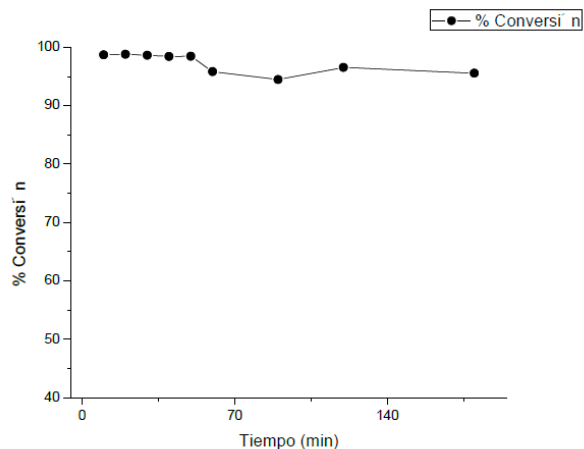


Figura 9. Cinética del alcohol 4-metoxibencílico

Por cromatografía de gases (figura 10), se observan dos picos predominantes en los tiempos de retención de 11.645 y 12.312 respectivamente.

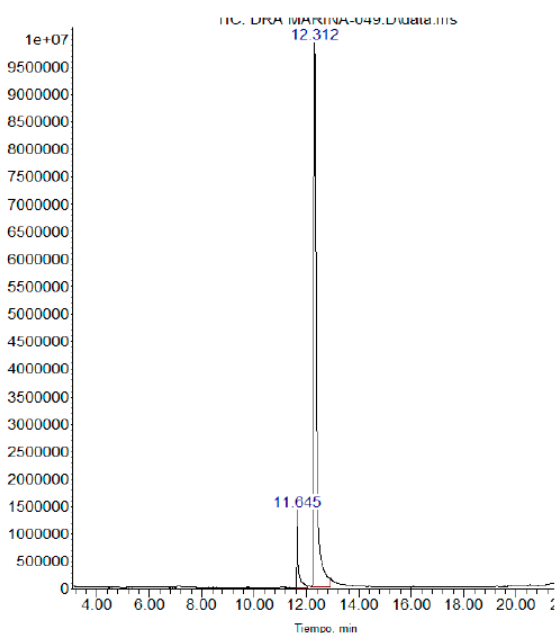


Figura 10. Cromatograma gases-masas para la oxidación del alcohol 4-metoxibencílico

Mediante espectrometría de masas, se identificaron por medio de su patrón de fragmentación característico como 4-metoxibenzaldehído (figura 11) y el alcohol 4-metoxibencílico remanentes.

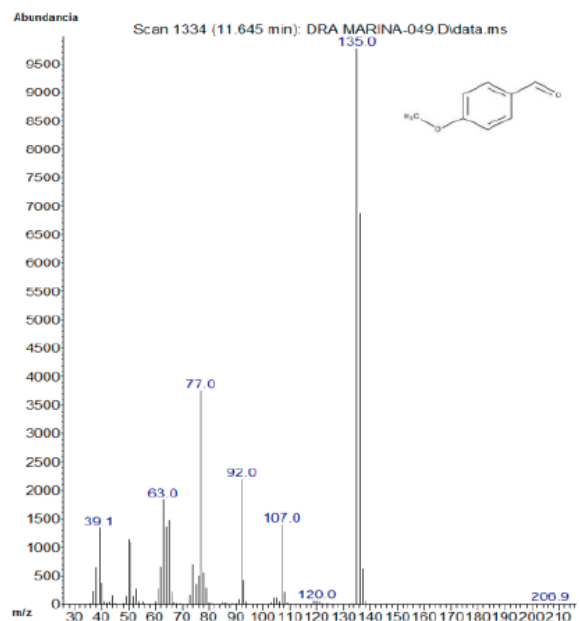


Figura 11. Patrón de fragmentación

## CONCLUSIONES

- Se sintetizó un catalizador de óxidos de hierro por el método de coprecipitación soportados en una bentonita activada.
- Las propiedades texturales del catalizador magnético sintetizado se determinaron mediante la técnica de adsorción-desorción de nitrógeno y aplicando el método y BET y obteniéndose un material mesoporoso con área superficial específica de  $106 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ .
- El análisis elemental del catalizador magnético se realizó mediante EDXS (espectroscopia de dispersión de energía de rayos X), obteniéndose que el 11.32% en mol del catalizador está compuesto por óxidos de hierro, el 4.71% por alúmina y el 10.40% de dióxido de silicio.
- Se encontraron las condiciones óptimas para desarrollar la oxidación del alcohol 4-metoxibencílico.
- Se evaluó la actividad catalítica del catalizador sintetizado en reacciones de oxidación tipo Fenton heterogénea aplicada al alcohol 4-metoxibencílico obteniéndose grados de conversión del 95% en condiciones de temperatura ambiente.
- Se identificó una especie como resultado de la oxidación del alcohol 4-metoxibencílico mediante cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas, el cual fue el anisaldehído (4-metoxibenzaldehído).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Nanomateriales y Catálisis (L-11) de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria (UIM) de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La investigación se realizó con fondos de la UNAM-DGA-PA del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica PAPIIT RT101815.

Se agradece el apoyo técnico de la M. en C. Sofía González Gallardo.

## REFERENCIAS

- [1] Hassan Atashin. (2013). Magnetic iron oxide nanoparticles embedded in SBA-15 silica wall as a green and recoverable catalyst for the oxidation of alcohols and sulfides. *Journal of Saudi Chemical Society*, 21(1), S17-S24.
- [2] B. Peterson, M. Herried, R. Neve y R. W. McGaff, 2014. Oxidation of primary and secondary benzylic alcohols with hydrogen peroxide and tert-butyl hydroperoxide catalyzed by a "helmet" phthalocyaninato iron complex in the absence of added organic solvent. *Royal Society of Chemistry*. 43, 17899-17903. DOI: 10.1039/C4DT02647K
- [3] Nasrollahzadeh, M., Bagherzadeh, M., y Karimi, H. (2016). Preparation, characterization and catalytic activity of CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles as a magnetically recoverable catalyst for selective oxidation of benzyl alcohol to benzaldehyde and reduction of organic dyes *Journal of Colloid and Interface Science*, 465, 271-278.
- [4] Shaikh, M., Satanami, M. y Ranganath, K.V., (2014). Efficient aerobic oxidation of alcohols using magnetically recoverable catalysts. *Catalysis Communications*, 54, 91-93.
- [5] Tojo G. y Fernandez M.. Oxidation of Alcohols to Aldehydes and Ketones, Berlin: Springer, 2006.
- [6] Nidheesh, P.V. (2015). Advances. Heterogeneous Fenton catalysts for the abatement of organic pollutants from aqueous solution: a review. *Royal Society of Chemistry*, 5, 40552-40577.
- [7] Muñoz, M., de Pedro, Z. M., Casas J. A. y Rodríguez, J. J. (2015). Preparation of magnetite-based catalysts and their application in heterogeneous Fenton oxidation – A review. *Applied Catalysis B: Environmental*, 176-177, 249-265.
- [8] Zubir, N. Yacou, C. Motuzas, J. Zhang X., da Costa J.C., (2014). Structural and functional investigation of graphene oxide–Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanocomposites for the heterogeneous Fenton-like reaction. *Scientific reports*, 4 4594.
- [9] Wang, J.Y., Guan, Q.C., Liu, Y.G., Wei, J.Q., et al., (1992). Photorefractive properties and self-pumped phase conjugation of tetragonal Fedoped KTa<sub>1-x</sub>NbxO<sub>3</sub> crystal. *Appl. Phys. Lett.* 61, 2761.
- [10] D. Wan, G. Wang, W. Li, X. Wei, (2017). Investigation into the morphology and structure of magnetic bentonite nanocomposites with their catalytic activity. *Applied Surface Science*, 413, 398-407.
- [11] Vargas Rodríguez, Y. M. Beltrán, H. I. Vázquez-Labastida, E. Linares-López C. y Salmón, M. (2007). Synthesis and characterization of montmorillonite clays with modulable porosity induced with acids and superacids. *Journal of Materials Research*, 22 788-800.

## LA ELECTROFORESIS CAPILAR EN LA DETERMINACIÓN DE LOS POLIFENOLES DEL EXTRACTO HIDROALCOHÓLICO DE MARRUBIO

Misael Eulices Fernández Salazar<sup>1</sup>, María Gabriela Vargas Martínez<sup>2</sup>, Brígida del Carmen Camacho Enriquez<sup>2</sup>

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>1</sup>Laboratorio de Desarrollo de Métodos Analíticos

<sup>2</sup>Laboratorio de farmacognosia

[gvargasm@unam.mx](mailto:gvargasm@unam.mx), [bcamachoe@gmail.com](mailto:bcamachoe@gmail.com)

### RESUMEN

En este trabajo se presentan los avances sobre la investigación de la composición en polifenoles de extractos de hojas de marrubio en extractos etanol-agua (70:30) usando la técnica de electroforesis capilar. Como hallazgos podemos resumir, que se lograron identificar 10 polifenoles en extractos acuosos e hidroalcohólicos, además de que resulto necesaria la ruptura de la unión de los azúcares unidos a ciertos polifenoles mediante una hidrólisis, para poder lograr su identificación. Las ecuaciones de las curvas de calibración de cuatro de los polifenoles principales fueron obtenidas para poder cuantificar éstos componentes en los extractos.

**PALABRAS CLAVE:** Marrubio, Electroforesis Capilar, *Marrubium vulgare* L., polifenoles, antioxidantes, determinación

### ANTECEDENTES

El marrubio (*Marrubium Vulgare* L.) es una planta perenne tipo herbácea originaria de Europa meridional y Asia, aunque en la actualidad se encuentra ampliamente distribuida en el continente Americano. En México es conocida en estados como Baja California Norte con el nombre de "melcupis", en el Estado de México como "tzopiloshihuitl" y en Michoacán como "vitzacua" entre algunos otros nombres.[1] Se han reportado diversas aplicaciones de los extractos acuoso e hidroalcohólico del marrubio para aliviar ciertas patologías como es la pérdida de apetito, trastornos dispépticos, como flatulencia[2], sensación de saciedad[3], control de la diabetes[4], así como también se ha demostrado que los extractos presentan actividad larvicida y antifúngica[5], dichos efectos podrían ser atribuidos a la presencia de polifenoles en el material vegetal que general-

mente se toma en forma de infusiones acuosas. [5]

En el trabajo realizado previamente, el cual se presentó en el tercer congreso de Ciencia, Educación y Tecnología, en el año 2017, con el nombre "Caracterización de polifenoles del extracto acuoso de marrubio (*Marrubium vulgare* L.) Por electroforesis capilar", [6] se reportó la identificación de cinco componentes en el extracto acuoso, los cuales son: arbutina, catequina, naringenina, resolcinol y rutina. En el congreso de este año se presentan los avances sobre la investigación hasta el día de hoy, que consisten en 1) la identificación de los compuestos polifenólicos, ahora en extractos etanol:agua (70:30), 2) la identificación de los compuestos polifenólicos en extractos hidrolizados, 3) el estudio realizado para la selección del estándar interno a utilizar, 4) los resultados de la evaluación de la precisión de las señales y 5) la construcción y análisis de las curvas de calibración para la obtención de los modelos

lineales para la posterior cuantificación de los polifenoles en los extractos de marrubio. Como hallazgos podemos resumir, que se lograron identificar 12 polifenoles en los extractos acuosos e hidroalcohólicos, además de que resulto necesaria la ruptura de la unión de los azúcares unidos a ciertos polifenoles mediante una hidrólisis, para poder lograr su identificación. Las ecuaciones de las curvas de calibración de tres de los polifenoles principales fueron obtenidas para poder cuantificar éstos componentes en los extractos.

### OBJETIVO(S)

Identificar y cuantificar los componentes polifenólicos presentes en extractos etanol-agua (70:30) de marrubio mediante la técnica de electroforesis capilar, con el fin de contribuir al conocimiento del perfil fitoquímico de la planta.

### EXPERIMENTACIÓN

Condiciones de separación por electroforesis capilar: Se utilizó un equipo de Electroforesis Capilar P/ACE MDQ, Beckman Coulter Capillary Electrophoresis system (Fullerton, CA, USA). Las mediciones de los compuestos fenólicos se realizaron utilizando capilares de sílice fundida de 50  $\mu\text{m}$  de diámetro interno, 51.7 cm de longitud total y 40.2 cm de longitud efectiva, la detección se realizó a 200 nm, a un voltaje aplicado de 26.8 kV y 22 °C. Las corrientes obtenidas fueron alrededor de 85 a 95  $\mu\text{A}$ . El buffer de corrida o separación, consistió en un buffer de boratos 25 mM (a partir de tetraborato de sodio) y como disolvente agua desionizada a pH 9.4.

A. Extracción de la muestra vegetal por sonicación: Se pesó aproximadamente 1 g de hoja de marrubio previamente tamizada con una maya número 60 y se agregó 20 mL de solución etanol:agua (70:30), se ultrasónico por 60 minutos. Posteriormente se filtró la solución a gravedad y se centrifugó a 10000 rpm durante 10 minutos. Antes de su inyección al equipo de electroforesis capilar la solución se filtró con acrodiscos de jeringa de 0.45  $\mu\text{m}$  y se realizó la separación.

B. Hidrólisis del extracto: Se pesaron aproximadamente un gramo de hoja de marrubio y se agregaron 20 mL de solución etanol-agua (70:30), se ultrasónico durante 60 min, se filtró la solución al vacío y se concentró el extracto a una temperatura de 35 °C durante 60 mi-

nutos, para la hidrólisis se utilizó 5 mL de una solución de hidrolizante compuesta por: hidróxido de sodio (NaOH) 1.8 N, ácido etilendiamintetraacético (EDTA) 10 mM y ácido ascórbico (HAs) al 1%. Posteriormente se centrifugo la solución a 3000 rpm durante 10 min, se decantó la solución y se filtró con una membrana de 25 $\mu\text{m}$ , antes de la inyección en el equipo de electroforesis capilar.

**Caracterización de los polifenoles en el extracto A etanol:agua (70:30):** Se realizó la separación del extracto para observar el perfil electroforético que presenta y el fraccionamiento de los componentes de la muestra, posteriormente y para su identificación se realizó una adición de la solución estándar del polifenol que se sospecha está presente en el extracto, siendo la identificación positiva si la señal crece.

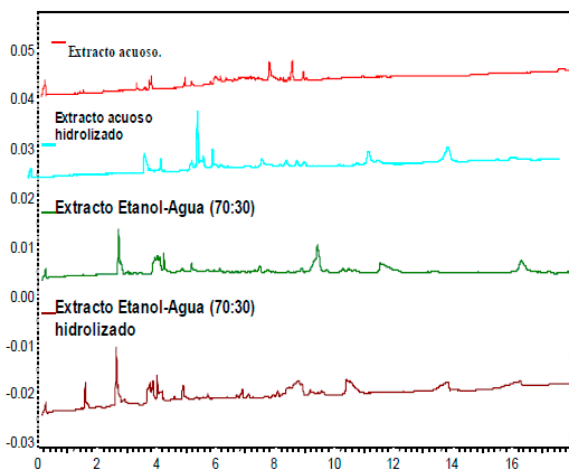
**Precisión:** Se preparó una solución de estándares de Arbutina, Catequina, Resveratrol y Metilparabeno como estándar interno y se realizaron 12 repeticiones de electroferogramas con el fin de analizar la repetibilidad en tiempos, áreas y alturas de las señales obtenidas.

**Cuantificación de los Polifenoles:** Para la cuantificación de los polifenoles se utilizó como estándar interno al metilparabeno. Para la elaboración de las curvas de calibración se prepararon soluciones stock de cada polifenol y del E.I.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1 y 2.- Identificación de los polifenoles en los extractos.

Se realizó la identificación de diferentes polifenoles: A) en el extracto etanol-agua 70:30) y C) en sus correspondientes extractos hidrolizados, los cuales se muestran en los electroferogramas de la Figura 1 y se resumen en la tabla 2 y 3.



**Figura 1.** Electroferogramas correspondientes a los extractos: acuoso, etanol-agua (70:30) y sus respectivos hidrolizados.

Esta identificación se realizó 1) por comparación de los tiempos de migración, 2) por adición del estándar que se sospecha al extracto y 3) por comparación de los espectros de absorción obtenidas (con el detector de arreglo de diodos) con el espectro de su correspondiente estándar.

**Tabla 1.** Polifenoles identificados en el extracto acuoso e hidrolizado.

Extracto acuoso	Hidrolizado
Epicatequina.	
Resorcinol	
Naringenina.	
Rutina.	
	Catequina.

**Tabla 2.** Polifenoles presentes en el extracto hidroalcohólico y su hidrolizado.

Extracto hidroalcohólico	Hidrolizado
Arbutina.	
Resveratrol.	
	Acido Ferúlico
	Acido siríngico
	Tirosol

3.-Selección del estándar interno: La adición de un estándar interno (E.I.) tiene la finalidad de minimizar las diferencias en los tiempos de migración, áreas y alturas de los picos provocadas por los cambios de viscosidad de los extractos. Esta selección consistió en adicionar un compuesto de estructura similar a los analitos en estudio, que sea de alta pureza, y no esté presente de forma natural en la muestra; además, su señal debe estar perfectamente resuelta del resto de los picos, lo más gaussiana posible (simétrica), para facilitar su buena integración. De esta forma el metilparabeno fue elegido como estándar interno para los extractos de etanol-agua (70:30) y a continuación en la tabla 3, se muestran los tiempos de migración, las áreas, las alturas y el coeficiente de variación para los tres estándares analizados.

4.- Precisión: De acuerdo a las guías de validación, en lo que respecta a los tiempos de migración se obtuvieron %RSD < 2% (tabla 1) y de acuerdo a los criterios de aceptación podemos afirmar que el método es preciso en el caso de los tiempos de migración.

**Tabla 3.** Precisión (%RSD) en tiempos de migración de los polifenoles identificados.

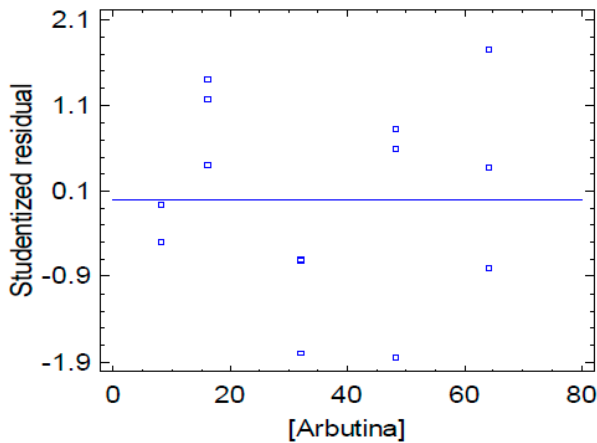
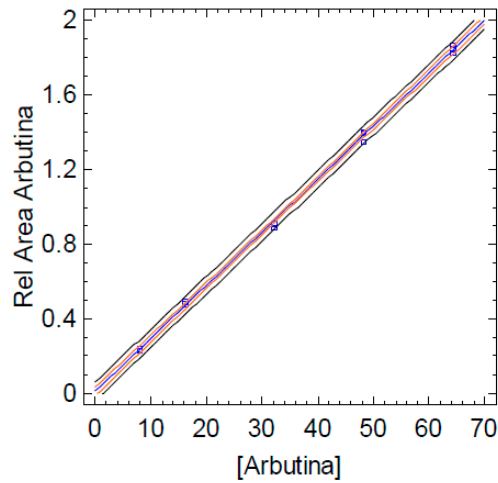
Estándar	Promedio ( $\bar{x}$ ) en $t_m$	Desv. Est (s).	%RSD
Arbutina	3.47	0.01	0.36
Resveratrol	4.50	0.01	0.45
Metilparabeno (E.I.)	5.12	0.03	0.52
Catequina	5.26	0.02	0.56

5.- Obtención de los modelos lineales de las curvas de calibración.

Los datos obtenidos de áreas, alturas, así como las relaciones de (A polifenol/A EI) y alturas (H NAR/H EI) de los experimentos planteados en la Tabla 1, se midieron por triplicado y analizaron utilizando el software Statgraphics centurión XVI. Se concluyó que el mejor parámetro para relacionar con la concentración es "la relación de alturas" es decir el cociente de la Altura del polifenol / Altura del metilparabeno (H NAR/H EI) ya que como se muestra en las Figuras 2, 3 y 4, existe un buen ajuste al modelo lineal y los datos presentan residuales al azar (condición de homocedasticidad), con coeficientes de determinación  $r^2 > 0.98$  en todos los casos.

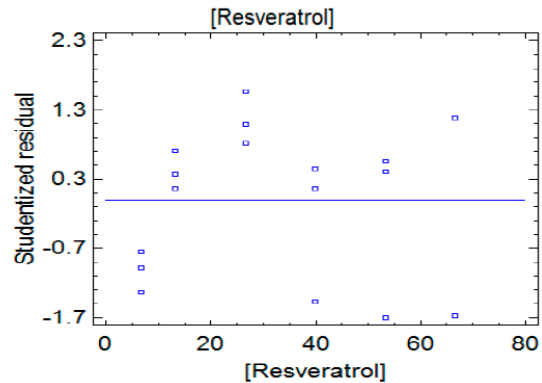
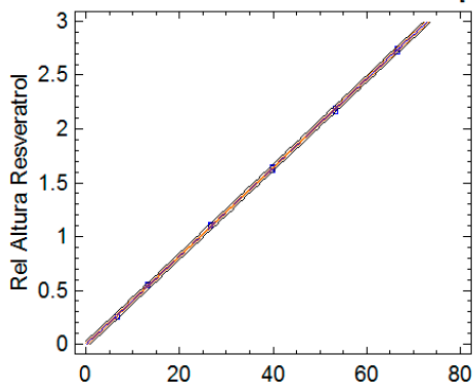


$$\text{Rel Area Arbutina} = 0.0121233 + 0.0284203 * [\text{Arbutina}]$$



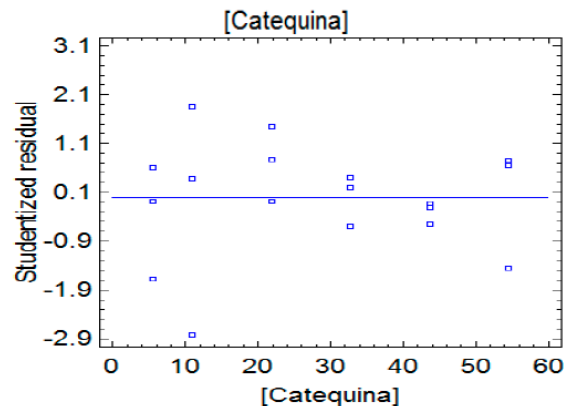
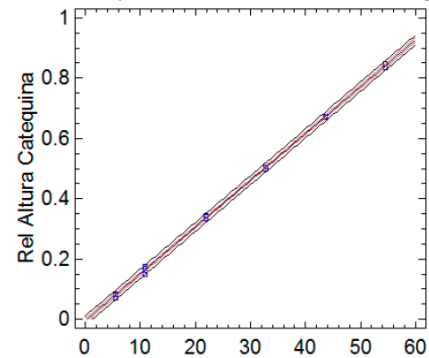
**Figura 2.** a) Curva de calibración a concentraciones crecientes de Arbutina medido por EC a 200 nm y b) sus residuales.

$$\text{Rel Altura Resveratrol} = -0.00574847 + 0.0411631 * [\text{Resveratrol}]$$



**Figura 3.** a) Curvas de calibración a concentraciones crecientes de Resveratrol medido por EC a 200 nm y b) sus residuales.

$$\text{Rel Altura Catequina} = -0.00411343 + 0.0155172 * [\text{Catequina}]$$



**Figura 4.** a) Curvas de calibración de Catequina medido por EC a 200 nm y b) sus residuales.

Finalmente con la relación obtenida en las curva de calibración, se logró cuantificar los polifenoles presentes en el extracto etanol-agua (70:30), con 6 réplicas (tabla 4). El límite de detección (LOD) fue calculado utilizando la desviación estándar de los residuales ( $Sy/x$ ) obtenido de la curva patrón y la ecuación 1.

$$LOD = \frac{3.3 S_{y/x}}{m} \quad (1)$$

donde m= pendiente

**Tabla 4.** Cuantificación de los polifenoles identificados en extracto etanol-agua, del marrubio.

Estándar	LOD (mg/L)	S muestra	Concentración (mg/g vegetal)
Arbutina	2.43	0.02	----
Resveratrol	1.13	0.41	0.011±0.41
Catequina	1.46	2.04	0.014±2.04

S= desviación estándar

## CONCLUSIONES

Con base en los análisis realizados en los extractos acuosos, etanol-agua (70:30) y sus correspondientes extractos hidrolizados, se pudo identificar la presencia de 10 compuestos polifenólicos, en las hojas de marrubio.

En cuanto a la precisión en la determinación, se eligió un estándar interno (metilparabeno) que nos permitió utilizar la relación en áreas, alturas y tiempos que mejoró (de forma significativa) la repetibilidad obteniéndose porcentajes de desviación estándar relativa menores al 2% como se indica en la tabla 3, por lo que podemos decir que la determinación es precisa. [7]

Se logró identificar tres polifenoles (arbutina, catequina y resveratrol), presentes en el extracto etanol-agua (70:30) los cuales se cuantificaron mediante la interpolación en la curva patrón, obteniéndose los límites de detección para cada polifenol. En el caso de la arbutina no se logró cuantificar debido a que la señal obtenida está por debajo del LOD, por lo tanto podemos decir que solo fue posible identificar a la arbutina con ayuda del espectro UV obtenido y el tiempo de migración de la señal.

En el caso de la Catequina y Resveratrol, las señales obtenidas presentaban una mayor altura, arriba del límite de detección de la curva, por lo tanto se determinó exitosamente los dos componentes, con una buena precisión en la relación de alturas < al 2%.

## AGRADECIMIENTOS

A la D.G.A.P.A, UNAM por el financiamiento otorgado con el Proyecto PAPIME PE204118 titulado: "Actualización y fortalecimiento de la enseñanza experimental de las asignaturas: Fitoquímica y Farmacognosia y Fitofármacos de la licenciatura en Química".

## REFERENCIAS

- [1] UNAM. (2017). Biblioteca digital de la medicina tradicional mexicana.. Recuperado de <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=Marrubium%20vulgare&id=7620>.
- [2] Blanca F. (2002). Plantas medicinales y drogas vegetales. Argentina.
- [3] Morandé F.J. (2009). Medicamentos herbarios tradicionales 103 especies vegetales. PROTEGE, Chile.
- [4] Elmhdwi, M.F., Muktar. M.A., Attitalla.I.H. (2015). Hypoglycemic effects of Marrubium vulgare (Rubia) in experimentally induced autoimmune Diabetes Mellitus International Journal of Pharmacy & Life Sciences. 6, 4374-4388,
- [5] AOUATIAmel, BERCHISélimab, (2015). Larvicidal effect of Marrubium vulgare on Culexpiens in Eastern Algeria. Energy ocedia 74, 1026-1031.
- [6] Fernández, M., Vargas, G., Camacho B., (2017). III Congreso de Ciencia, Educación y Tecnología. Caracterización de polifenoles presentes en el extracto acuoso del marrubio, FES-Cuautitlán, UNAM.
- [7] Guía de validación de métodos analíticos (2002). Editada por el Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos Biólogos México, A. C. Mexico.

## SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE POLIURETANOS BIODEGRADABLES

Adileily Olivares Jiménez<sup>1</sup>, Selena Gutiérrez Flores<sup>1</sup>, Mikhail A. Tlenkopatchev<sup>2</sup>,  
José Manuel Burelo Torres<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México,

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Materiales

adileily.oj@hotmail.com, jmburelo@comunidad.unnam.mx

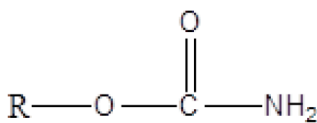
### RESUMEN

Los poliuretanos (PUs) forman parte de los polímeros más usados en la industria y en la vida diaria debido a sus aplicaciones, versatilidad, propiedades y características. Los PUs son sintetizados a partir de una reacción de policondensación entre un diisocianato y dioles. Los dioles son obtenidos principalmente de recursos petroleros. En México no existen cifras oficiales, pero se estima que más del 7% de la basura generada corresponde a plásticos, entre ellos los PUs. La degradación de los PUs mediante procesos naturales o químicos es muy complicada, debido a que estos materiales pueden formar compuestos estables e incluso polímeros termoestables. En este trabajo se sintetizaron PUs a partir de diferentes dioles insaturados, obtenidos vía reacción de metátesis a partir de alcoholes, hule natural y hule industrial. Se comprobó la síntesis de los PUs a través de las técnicas de <sup>1</sup>H-RMN, FT-IR y GPC. Además, se estudió su estabilidad térmica a través de TGA y DCS

**PALABRAS CLAVE:** Poliuretanos, dioles insaturados, hule natural, biodegradación, metátesis, policondensación.

### ANTECEDENTES

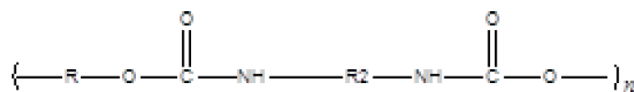
Los poliuretanos forman parte de los polímeros más usados en la industria y en la vida diaria debido a sus aplicaciones, versatilidad, propiedades y características. Fueron producidos e investigados por primera vez por el Dr. Otto Bayer en 1937. El poliuretano es un polímero en el que la unidad repetida contiene el grupo uretano. Los uretanos son derivados de ácidos carbámicos los cuales solo existen en su forma de ésteres [1, 2]. Esta estructura puede ser representada generalizando la amida-éster a partir de ácido carbónico (esquema 1):



Esquema 1. Grupo uretano.

Las variaciones en el grupo R y sustituciones de la amida hidrogenada producen múltiples uretanos [3].

La fórmula más simple para un poliuretano es lineal y es representada por (esquema 2):



Esquema 2. Estructura de un poliuretano

donde n es el número de repeticiones y R<sub>2</sub> es una cadena de hidrocarburos. R representa un hidrocarburo que contiene el grupo OH. Los diisocianatos son empleados en las reacciones de producción de PU porque reaccionarán con cualquier componente que contenga un hidrógeno activo [2]. Los materiales de poliuretano son generalmente sintetizados a partir de una reacción

entre un diisocianato y polioles obtenidos principalmente de recursos petrolíferos. Sin embargo, con la creciente preocupación por el medio ambiente y la disminución de los recursos petrolíferos, la síntesis de polímeros y poliuretanos a partir de recursos renovables recientemente ha llamado mucho la atención [4-7]. Entre más y más materias primas comienzan a escasear para la síntesis de plásticos, el reciclaje de los desechos de plásticos se ha vuelto importante [8]. En México no existen cifras oficiales, pero se estima que más del 7% de la basura generada corresponde a plásticos, entre ellos los PUs [9]. Los problemas de degradación impulsaron a los investigadores a buscar modificaciones o procesos que permitieran ya sea una degradación química o PUs biodegradables [10]. Se iniciaron diferentes investigaciones para conseguir degradar los poliuretanos saturados, los cuales se pueden utilizar en el campo médico, entre otras aplicaciones.

Después de años de producción de PUs, los fabricantes los encontraron susceptibles a la degradación [11]. Por otra parte, la regularidad en los polímeros sintéticos permite a las cadenas poliméricas empacarse fácilmente, dando como resultado la formación de regiones cristalinas. Esto limita la accesibilidad de las cadenas de polímero a agentes degradantes [10]. Una investigación se realizó para dilucidar si los aditivos en la estructura química de los PUs podrían disminuir la degradación. Kanavel y otros., observaron que el poliéster curado con sulfuro y poliésteres poliuretanos tenían inactividad fúngica. Sin embargo, ellos notaron que incluso con fungicidas añadidos a los poliuretanos con sulfuro-peróxidos, el crecimiento fúngico seguía ocurriendo en los poliésteres PUs y muchos fungicidas tenían efectos adversos en las formulaciones. Huang y otros., obtuvieron poliéster PUs a partir de policaprolactonadioles en un esfuerzo por producir PUs biodegradables para su uso en el campo médico. Muchos de los diferentes PUs se hicieron con polyester como subunidades de varias longitudes. Los polímeros fueron estudiados para degradación por acción de encima y dos especies de hongos. La encima y los hongos degradaron cada PU. Además, también se notó que hubo un aumento en la biodegradabilidad de los poliésteres poliuretanos. [10, 12-13].

Es así como se sientan las bases para la degradación de PUs saturados.

## OBJETIVOS

**Objetivo principal:** Sintetizar dioles y polioles insaturados como precursores para la síntesis de poliuretanos biodegradables.

**Objetivos secundarios:** Sintetizar y caracterizar dioles y polioles insaturados a partir de: cis-2-butene-1,4-diol, reacciones vía metátesis entre el alcohol 9-decen-1-ol, reacciones de degradación vía metátesis entre el hule natural o industrial y 9-decen-1-ol.

Sintetizar poliuretanos insaturados y caracterizarlos mediante las técnicas de resonancia magnética nuclear RMN, espectroscopia de infrarrojo FT-IR y cromatografía por permeación de gel GPC, estudiar sus propiedades térmicas y mecánicas, así como, su degradabilidad a través de rutas biológicas.

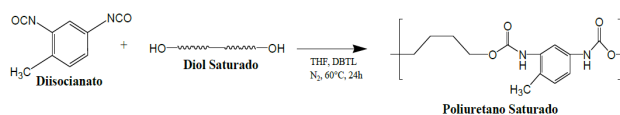
## PARTE EXPERIMENTAL

### Reactivos:

2,4-Diisocianato de Tolueno (TDI), 9-Decen-1-ol, Cis-2-Butene-1,4-diol, 1,4-Butane-diol, copolímero en bloque Poliestireno-Polibutadineo (PB), 70% PB, Hule Natural (HN), catalizador de Hoveyda-Grubbs 2da gen., para las reacciones de metátesis y Dilaurato Dibutilesaño como catalizador para la reacción de policondensación.

### Síntesis de poliuretanos saturados:

La obtención de poliuretanos saturados se llevó a cabo con una reacción de policondensación entre un diisocianato y un diol saturado tal como se muestra en el esquema 3.



**Esquema 3.** Síntesis de poliuretano saturados (ruta a).

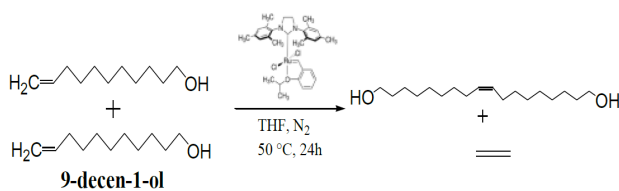
### Síntesis de dioles insaturados:

La síntesis de dioles se llevó a cabo a través de reacciones de metátesis (esquema 4 y 5) en un medio inerte (N<sub>2</sub>). Se llevaron a cabo con una relación molar de dobles enlaces de 500:1 respecto al catalizador. Se preparó una disolución de catalizador con una concentración de 2 x10<sup>-5</sup> mol/ml en un disolvente anhidro como THF.

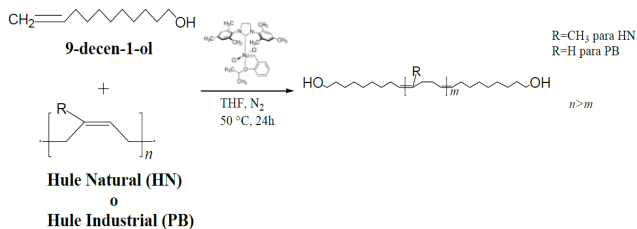
Para cada reacción, los reactivos mencionados en los esquemas 4 y 5, se agregaron a un matraz junto con el catalizador preparado (Hoveyda-Grubbs), la reacción se llevó a cabo en atmósfera de nitrógeno a una temperatura de 80 °C, con agitación constante y 24 h. de reacción.

Después de que la reacción se llevó a cabo, se precipitó el producto. Para lo cual se preparó una solución ácida de metanol (HCl) y 2,5-Di-ter-butilhidroquinona como estabilizador, en la cual se adicionó gota a gota la solución obtenida anteriormente. Al terminar la decantación, el producto se dejó precipitar por 24 horas. Como productos se obtuvieron; para la reacción del 9-decen-1-ol consigo mismo, una fase líquida. Por otro lado, para la reacción llevada a cabo con HN y PB una fase líquida en abundancia y otra fase sólida para el PS presente en el copolímero PS-PB.

Además de los dioles obtenidos, se utilizó un diol industrial, Cis-2-Butene-1,4-diol, para la síntesis de poliuretanos insaturados (esquema 6).



**Esquema 4.** Reacción vía metátesis entre 9-decen-1-ol + 9-decen-1-ol (Reacción 2).



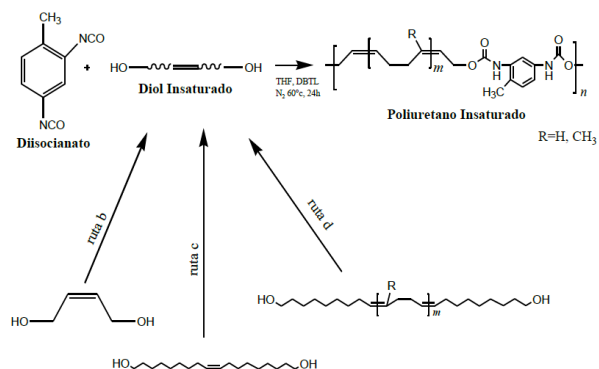
**Esquema 5.** Degradación vía metátesis del hule natural (HN) o hule industrial Polibutadieno (PB) + 9-decen-1-ol (Reacción 3).



**Esquema 6.** Cis-2-Butene-1,4-diol.

### Síntesis de poliuretanos insaturados

Para los fines de esta investigación, proponemos tres rutas de reacción para la obtención de poliuretanos insaturados (esquema 7):



**Esquema 7.** Síntesis de poliuretanos insaturados (ruta b, c y d).

En un matraz bola se adiciono el diisocianato TDI, en otro matraz se pesó el catalizador (Dibutilestano Dilaurato) en una relación molar de 0.05:1 mol de diol. Se agrego el catalizador al matraz con el diisocianato. Se pesó el diol insaturado en un matraz con una relación de 1.2 moles por cada mol de diisocianato. Posteriormente, es agregado al matraz con el diisocianato. El procedimiento se llevó a cabo en una atmosfera de nitrógeno.

El matraz con todos los compuestos mezclados se puso en agitación con una temperatura de 60°C durante 24 h. Pasado el tiempo de reacción, el producto es precipitado en metanol, en donde se elimina el diisocianato que no reaccionó. Una vez aislado el compuesto se seca a vacío a 60°C, y por último es pesado para obtener el rendimiento de la reacción por gravimetría.

Los productos obtenidos fueron caracterizados por espectroscopia de infrarrojo por Transformada de Fourier (FT-IR), Espectroscopia de Resonancia Magnética Nuclear de protón (1H-RMN), Difracción de Rayos-X (DRX), Cromatografía de Permeación en Gel (GPC), Análisis Termogravimétrico (TGA) y Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Pesos Moleculares

A través de la técnica de Cromatografía de Permeación en Gel (GPC), se obtuvo un poliol de alto peso, Diol 2 y 3 con 17,835 g/mol y 59,567 g/mol, respectivamente. Un poliuretano insaturado PU4 con un peso de 83,640 g/mol y PUs insaturados con pesos desde 2,631 g/mol hasta 4,872 g/mol. Estos pueden observarse en la tabla 1.

Tabla 1. Síntesis de dioles y poliuretanos insaturados.

Muestra	Rxn <sup>a</sup>	Peso molecular <sup>b</sup>		Ren <sup>c</sup> (%)
		Mn (g/mol)	PDI (Mw/Mn)	
Diol 1	2	372	1.623	90%
Diol 2	3	17,835	1.146	95%
Diol 3	3	59,567	3.4	97%
PU1	a	2,743	2.31	98%
PU2	b	2,631	2.23	99%
PU3	b	4,872	1.23	99%
PU4	d	83,640	3.1	98%

<sup>a</sup>Rxn=Reacción.

B Pesos moleculares (Mn) e índice de polidispersidad (PDI) determinados por cromatografía de permeación en gel (GPC) utilizando poliestireno monodisperso como estándar.

c Ren=Rendimiento de los dioles y poliuretanos aislados, calculados por gravimetría.

### Espectros de FT-IR

Al analizar los espectros de infrarrojo de algunos de los productos donde efectivamente podemos observar las señales de cada uno de sus componentes más importantes para nuestro estudio.

Para el caso de los poliuretanos formados (Figura 1), PU2 y PU4, aparecen las señales de los dobles enlaces C=C, además de los grupos amina y el grupo hidroxilo, lo cual nos indica que la reacción se llevó a cabo. Debido a la diferente naturaleza de los dioles utilizados para los poliuretanos, es necesario observar las señales de enlaces simples C-C (PU1) y enlaces dobles C=C (PU2 y PU4). Ahora bien, debido a que este estudio no nos muestra señales distintas para las señales del anillo aromático que se encuentra en los poliuretanos formados y el doble enlace H-C=C- aportado por el cis-2-butene-1,4-diol para PU2 y del que carece PU1, es necesario comprobar su formación a través de espectros de <sup>1</sup>H-RMN.

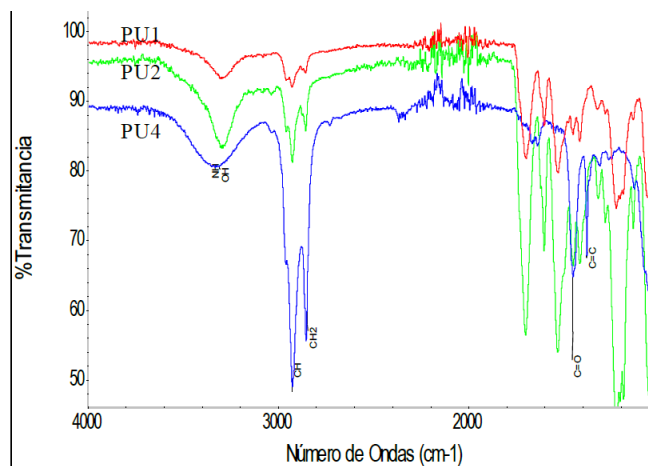


Figura 1. Espectro de FT-IR de los PUs (PU1, PU2 y PU4, tabla 1).

### Espectros de <sup>1</sup>H-RMN

Se comprobó la estructura de los productos obtenidos a través de los espectros <sup>1</sup>H-RMN (Figura 2). Se aprecian las señales características del grupos amina N-H ( $\delta=8.6-9$ ), los dobles enlaces del anillo aromático -CH= ( $\delta=7.2-7.4$ ), el radical metil ( $\delta=1.2-1.5$ ), los dobles enlaces pertenecientes al H-C=C ( $\delta=5.2-5.8$ ) y los -CH<sub>2</sub>-O ( $\delta=4.8-5$ ) y -CH<sub>2</sub> de la cadena principal ( $\delta=2.0-2.2$ ).

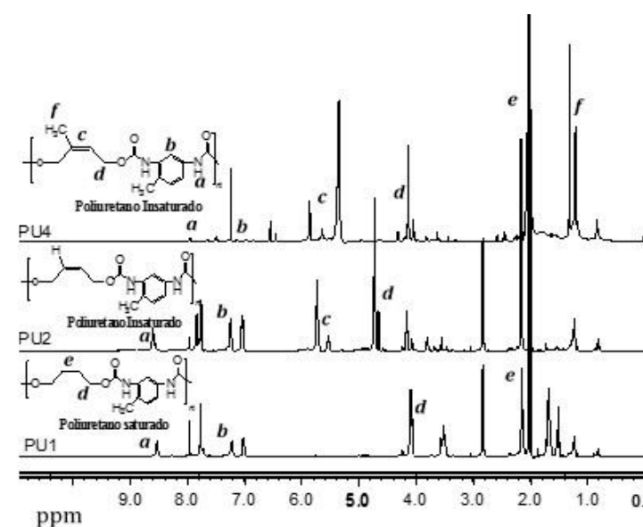


Figura 2. Espectros de <sup>1</sup>H-RMN de los PUs (PU1, PU2 y PU4, tabla1) en CD<sub>3</sub>COCD<sub>3</sub> (d<sub>6</sub>).

### Análisis termogravimétricos

Espectros de  $^1\text{H-RMN}$

Se comprobó la estructura de los productos obtenidos a través de los espectros  $^1\text{H-RMN}$  (Figura 2). Se aprecian las señales características del grupos amina N-H ( $\delta=8.6-9$ ), los dobles enlaces del anillo aromático  $-\text{CH}=\text{}$  ( $\delta=7.2-7.4$ ), el radical metil ( $\delta=1.2-1.5$ ), los dobles enlaces pertenecientes al  $\text{H-C}=\text{C}$  ( $s=5.2-5.8$ ) y los  $-\text{CH}_2-\text{O}$  ( $\delta=4.8-5$ ) y  $-\text{CH}_2$  de la cadena principal ( $\delta=2.0-2.2$ ).

**Tabla 2. Propiedades térmicas de los poliuretanos**

PU <sub>s</sub>	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>d</sub> (°C)
PU1	53.76	323.51
PU2	54.32	299.49
PU3	-60	389.43

### Análisis termogravimétricos

Para investigar el efecto de la parte insaturada en las propiedades térmicas de los PUs, la T<sub>g</sub> se determinó por calorimetría diferencial de barrido (DSC) en atmósfera de nitrógeno con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min. La estabilidad térmica de los PUs fue evaluada por análisis termogravimétrico (TGA). Las temperaturas, al 5 % de pérdida de masa, son mostradas en la tabla 2. Al observar la tabla 2, podemos hacer la comparación entre las propiedades térmicas del poliuretano saturado PU1 y el poliuretano insaturado PU2, las cuales no parecen tener variación considerable, por lo cual podríamos decir que la saturación no afecta a esta propiedad. En cambio, al observar PU3, el poliuretano sintetizado a base de un diol obtenido por reacción de metátesis con hule, las propiedades térmicas son completamente diferentes a las de los otros dos poliuretanos, esto debido a su comportamiento elastomérico aportado por el hule.

### CONCLUSIONES

Se prepararon dioles insaturados vía metátesis cruzada (cis-2-buten-1,4-diol, 9-decen-1-ol, hule natural y hule industrial) y se emplearon en la síntesis de poliuretanos insaturados (PU1-PU4), con rendimientos superiores al 90%.

A través de la técnica de FT-IR se observaron las diferentes señales de los componentes de las estructuras de los poliuretanos PU1, PU2 Y PU4.

Con base en el espectro de  $^1\text{H-RMN}$  se afirma la formación de los poliuretanos insaturados PU2 y PU4 además del poliuretano saturado PU1.

La saturación o ausencia de ella, no afecta en las propiedades térmicas de los poliuretanos.

Un poliuretano a base de hule natural va a presentar un comportamiento elastomérico y esto se aprecia en sus propiedades térmicas.

Con la incorporación de los dobles enlaces en la cadena de los PUs, se espera que su degradación sea más rápida en comparación a los poliuretanos convencionales.

### AGRADECIMIENTOS

A CONACYT (proyecto No. 214176/14) y PAPI-IT-UNAM (IA207418), por el apoyo económico para esta investigación. A Gerardo Cedillo V., Salvador López M., Karla Eriseth Reyes M., Adriana Tejada C. y Miguel Ángel Canseco M., por sus apoyos en las técnicas de RMN, GPC, análisis térmico, DRX y FT-IR respectivamente.

Trabajo presentado en memoria del Dr. Mikhail A Tlenkopatchev†.

## REFERENCIAS

- [1] Bayer O. (1947). Polyurethanes. *Modern Plastics* 24, 149-152.
- [2] Dombrow B.A. (1957). Polyurethanes. Reinhold. Publishing Corporation, New York.
- [3] Saunders J.H., Frisch K.C. (1964) Polyurethanes: Chemistry and Technology, Part II: Technology. Interscience Publishers, New York.
- [4] Cavaco L.I., Melo J.A. (2012) Polyurethane Material Derived From Agricultural Biomass Resources. Nova Science Publishers, Inc.
- [5] Tlenkopatchev M.A., Gutiérrez S. (2013). Química Sostenible. Metátesis de hules y aceites naturales, editorial académica española, Saarbrücken, Alemania.
- [6] Gutiérrez, S., Tlenkopatchev, M. A. (2010) *Polymer Bulletin*. 66(8) 1029-1038.
- [7] Burelo, J.M., Bañales, L.Y., Gutiérrez, S. Tlenkopatchev, M. A. (2018) *Materiales Avanzados*, 28, 30-34.
- [8] Snachbel, W. (1981) *Polymer degradation: Principles and Potential Applications*. Macmillan Publishing Co., Inc., New York, pp. 178-215.
- [9] Pérez Lara, L. F., et. al. J. (2016) *Appl. Polym. Sci.* 42992 1-9.
- [10] Howard, G.T. (2002) Biodegradation of polyurethane: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 49. 245-252.
- [11] Pathirana, R.A. Seal, K.J. (1983) *Gliocladium roseum* (Bainier) A potential biodeteriogen of polyester polyurethane elastomers. *Biodeterioration* 5, 679-689.
- [12] Huang, S.J., Macri, C., Roby, M., Benedict, C., Cameron, J.A. (1981) Biodegradation of polyurethanes derived from polycaprolactonediol. In: Edwards, K.N. (Ed.), *Urethane Chemistry and Applications*. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 471-487.
- [13] Kanavel, G.A., Koons, P.A., Lauer, R.E., (1966) Fungus resistance of millable urethanes. *Ruber World* 154, 80-86.



## REMOCIÓN DEL 2,4-D MEDIANTE RESIDUOS DE CAFÉ

Benjamín Tonatiuh Chávez Hernández, González-Guerrero César\*,  
Alejandra Guadalupe Villegas Pañeda, Leydi Rubi Pérez Vera

Departamento de Tecnología Ambiental, F.E.S.A., U.N.A.M., Av. Alcanfores y San Juan Totoltepec s/n.  
Santa Cruz Acatlán, Naucalpan, Estado de México CP 53150. Tel. 56231750.

[tonatiuh9999@gmail.com](mailto:tonatiuh9999@gmail.com), [misabtch@hotmail.com](mailto:misabtch@hotmail.com).

### RESUMEN

El presente trabajo refiere a la experimentación correspondiente a la remoción de un pesticida-herbicida organoclorado, ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) presente en el agua como residuo contaminante. Dicha remoción se realizó a partir de residuos de cascarilla de café. Para tal motivo se realizó una investigación sobre los diferentes métodos de remoción, las características de los mismos y sus antecedentes en el tratamiento del organoclorado en turno. El objetivo fue comprobar que los residuos de café funcionan como agentes de adsorción para en la remoción del 2,4-D presente en agua. Como resultados, se obtuvo la remoción del contaminante con una alta eficiencia. De esta forma, sentar antecedentes para la remoción de pesticidas organoclorados presentes en agua a partir de residuos de café.

**PALABRAS CLAVE:** Pesticida, Organoclorado, Adsorción, Remoción, Residuos de café y HPLC.

### ANTECEDENTES

Los organoclorados conforman un grupo de pesticidas artificiales desarrollados principalmente para controlar las poblaciones de insectos plaga. Su origen se remonta a la fabricación del DDT (diclorodifeniltricloroetano) en 1943. Los plaguicidas organoclorados (OC) se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente terrestre y acuático, como resultado de que en las últimas dos décadas han sido utilizados constantemente para combatir plagas en la industria, la agricultura, e incluso durante las campañas de salud donde son aplicados para contrarrestar enfermedades como la malaria. Sus propiedades fisicoquímicas los hace muy resistentes a la degradación biológica, por lo que son altamente persistentes [1].

Debido a su espectro de distribución y difícil biodegradación, estos contaminantes representan una seria amenaza para la salud pública y para la mayoría de las formas de vida; siendo compuestos altamente tóxicos

que inducen mutaciones (alteración del ADN o de los cromosomas), teratogénesis (malformaciones en el embrión) y alteraciones sobre una gran variedad de funciones metabólicas y de reproducción .

En la categoría de plaguicidas orgánicos sintéticos están incluidos los OC, los cuales se clasifican por su estructura química en:

- I.- Derivados halogenados de hidrocarburos alifáticos (HCH, lindano)
- II.- Derivados halogenados de hidrocarburos aromáticos (DDT, P,P'DDT, P,P'DDE)
- III.- Derivados halogenados de hidrocarburos cicloalifáticos (aldrín, dieldrín).

Aldrín, clordano, dieldrín, endrín, heptacloro, HCH (hexaclorociclohexano), lindano y toxafeno son organoclorados integrantes de la llamada "docena sucia" que engloba a aquellos pesticidas que más problemas ambientales han generado .

## OBJETIVOS

Comprobar que los residuos de café funcionan como agentes de adsorción para la remoción del 2,4-D presente en agua.

Se utilizaron residuos de café por la alta presencia de los mismos en las zonas cafetaleras. Dichos residuos son un contaminante en lugares como Córdoba Veracruz dentro de sus zonas cafetaleras, pues hay demasiados residuos que superan los esfuerzos de composteo o abono orgánico. Además por sus propiedades naturales se puede esperar un comportamiento favorable en la remoción de pesticidas.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Materiales y equipo

Se utilizó un Cromatógrafo de líquidos marca Perkin Elmer con un método con las siguientes características: Una proporción de fase móvil 50-50, compuesta por Acetonitrilo y Agua. Se utilizó el standard 2,4-D marca Sigma Alrich. Agua desstilada Milli Q y Acetonitrilo grado cromatografica marca tecsiquim. De acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" los niveles máximos permitidos para 2,4-D es de 50.00 mg/L, dato que se tomó para determinar el intervalo de trabajo.

Las concentraciones en ppm (g/mL) fueron 10, 20, 40, 80 y 160. Se partió de una muestra madre con una concentración de 1100 ppm de 2,4-D diluido en acetonitrilo.

Se analizaron los cromatogramas resultantes tomando las áreas bajo la curva de cada respuesta y se graficaron. Figura 1.

## EXPERIMENTO

Identificado el 2,4-D en tiempo y área bajo la curva, teniendo establecido nuestro intervalo de trabajo y habiendo preparado ya la solución a emplear se procedió a la experimentación.

Se preparó una secuencia de inyección de la manera siguiente:

- 1) Blanco de matriz. - Compuesto de 5 mL de agua des ionizada y la cascarilla de café (0.5g).

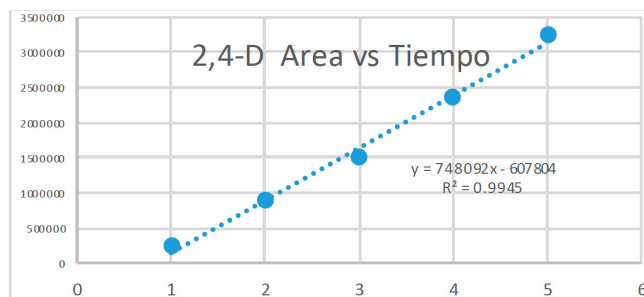


Figura 1. Gráfico de intervalo de trabajo.

Posteriormente se identificó el cromatograma referente al 2,4-D. Dicho espectro se localizó a los 7 min de la corrida.

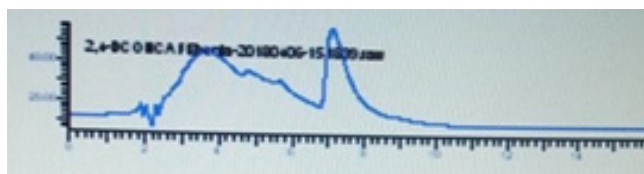


Figura 2. Cromatograma del 2,4-D.

- 2) Estándar positivo. - Compuesto por 5 mL de agua y con una concentración de 40 ppm de 2,4-D.

- 3) Muestra 1.- Compuesto por 5mL de agua y con una concentración de 40 ppm de 2,4-D además de 0.5 g de cascarilla de café.

- 4) Muestra 2.- Duplicado de Muestra1.

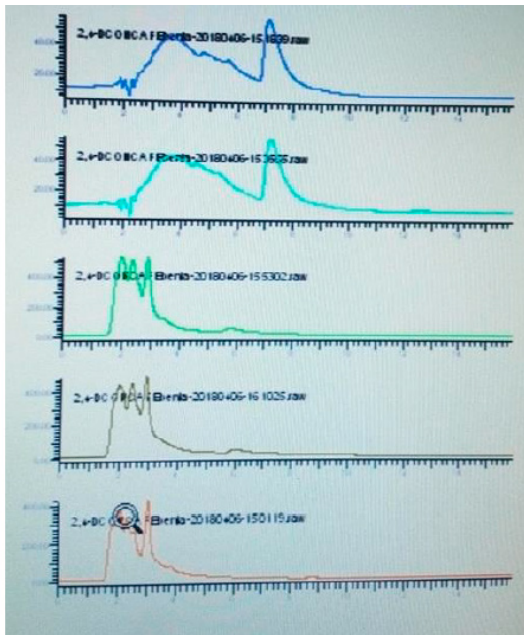
Todos los viales se agitaron por 2 minutos en forma manual y 1 minuto en el vortex para realizar una mejor mezcla.

Posteriormente, se procedió a inyectar las muestras en el cromatógrafo y se cuantificó el porcentaje de adsorción para identificar la remoción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó una disminución considerable de la concentración del 2,4-D presente en agua contaminada y sometida al contacto con cascarilla de café con respecto al estándar analizado.

Al observar los cromatogramas resultantes (Fig. 3), podemos observar que la señal correspondiente al analito en cuestión había desaparecido por completo. Lo que nos indica que la cascarilla de café absorbió al 2,4-D.



**Figura 3.** Cromatogramas de estándar de 2,4-D y muestras tratadas con cascarilla de café.

En la fig. 3 podemos ver los espectros obtenidos. Los 2 primeros corresponden al 2,4-D diluido en agua. El tercer espectro muestra nuestro estándar, la cascarilla del café y agua. Finalmente, las dos últimas respuestas son de la muestra tratada: agua contaminada con 2,4-D combinada con la cascarilla de café.

## CONCLUSIONES

La remoción del 2,4-D presente en agua a partir de los residuos de café se obtuvo en un porcentaje mayor al 90%, dicho resultado nos hace pensar en la gran eficiencia del residuo orgánico.

Durante la remoción se produjo un proceso de absorción en la cascarilla de café, ya que no se pudo recuperar por extracción con solventes. Lo cual nos hace pensar que el comportamiento de la cascarilla es similar al de las plantas.

De acuerdo a los parámetros establecidos por la NOM-127-SSA1-1994 para el 2,4-D, la cual es de 50 ppm, podemos pensar en aplicar esta metodología con cascarilla de café para tratar el agua contaminada y poder cumplir con dicha norma.

Por lo recabado en este experimento pensamos que es viable ocupar la cascarilla de café para la remoción de otros pesticidas, pues por su estructura y características propias es muy probable que se obtengan re-

sultados como los que aquí se dieron. Sin embargo estas hipótesis deberán comprobarse, por lo que se trabajará en ello en el futuro.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México  
A la Facultad de Estudios Superiores Acatlán  
Al laboratorio de Tecnología Ambiental, al personal que ahí labora y en general a todos los compañeros del área.

## REFERENCIAS

- [1] Goldberg, D.E. (1995). Emerging Problems in the Coastal Zone for the Twenty first Century. *Mar. Pollut. Bull.* 31(4-12) 152-158.
- [2] Calva, L.G., Torres, M.R., Plaguicidas organoclorados en Lab. de Ecosistemas Costeros. Departamento de Hidrobiología. D .C.B.S . U A M.
- [3] Hayes, W.J. Jr. (1975). *Toxicology of pesticides.* The Williams and Wilkins Company, USA.

## VALIDACIÓN DE UN MÉTODO ANALÍTICO PARA LA CUANTIFICACIÓN DE BETAMETASONA EN ESTUDIOS DE PERMEACIÓN EN PIEL

Miguel Ángel Romero Aguilar, Flora Adriana Ganem Rondero\*

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

[mglaromero@gmail.com](mailto:mglaromero@gmail.com), [ganemq@hotmail.com](mailto:ganemq@hotmail.com)

### RESUMEN

Se validó un método para la cuantificación de un corticosteroide en estudios de permeación en piel in vitro. Este servirá posteriormente para evaluar el efecto de moduladores de absorción, en particular de excipientes inhibidores de la glicoproteína-P (P-gp). Al realizar estudios de permeación, es fundamental garantizar que se mantienen condiciones "sink" en el medio receptor, por lo que después de realizar pruebas de solubilidad de betametasona en distintos medios, se seleccionó una solución de Brij 58® en amortiguador de fosfatos 0.2 M y pH 7.4 (5% w/v) como medio receptor para el fármaco en las celdas tipo Franz que se emplearán en pruebas de permeación. En este medio, el fármaco presenta una solubilidad de 1.0033 mg/mL. En la validación se obtuvieron valores que caen dentro de los intervalos de aceptación de la ICH para métodos biológicos (<15%) para la linealidad, reproducibilidad y repetibilidad, así como los valores para los límites LD (0.84 µg/mL) y LC (2.57 µg/mL).

**PALABRAS CLAVE:** Sistemas Transdérmicos, Permeación, Corticosteroides, Piel, Validación.

### ANTECEDENTES

A pesar de que la piel actúa como una barrera física y biológica entre el cuerpo y el medio ambiente para prevenir la pérdida excesiva de agua y la absorción de xenobióticos [1], ha sido ampliamente utilizada como una ruta de administración para terapia local, y también se ha logrado usar como ruta para la liberación sistémica [2]. Varios fármacos al aplicarlos tópicamente pueden causar irritación primaria en la piel, esta irritación puede variar dependiendo de las propiedades del agente para cruzar la barrera del estrato corneo y su subsecuentemente interacción con las células viables de la dermis y epidermis [3]. Se ha constatado que la liberación transdérmica de fármacos ocurre principalmente por difusión pasiva y la contribución por transportadores de xenobióticos participan en menor medida, sin embargo, en este último caso, el mecanismo aún es descono-

cido [4]. Este tipo de sistemas ofrecen varias ventajas sobre las formas de administración convencionales, incluyendo el evadir el efecto de primer paso hepático, la degradación en tracto gastrointestinal y la posibilidad de controlar la liberación del fármaco [5] [6].

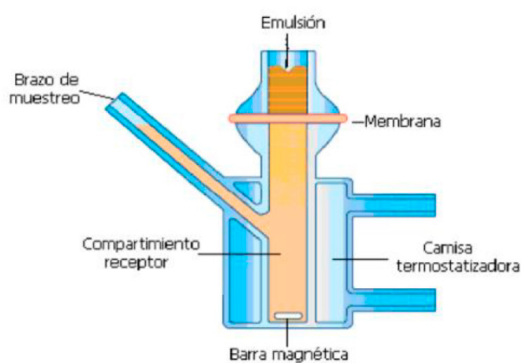
Por otro lado, la glicoproteína P (P-gp) y otros transportadores ATP-binding cassette (ABC) como las proteínas de resistencia al cáncer de mama (BCRP) son expresados en la piel, la P-gp se expresa en la capa basal de la epidermis en los humanos [7], y sirven como barrera bioquímica contra la liberación de medicamentos, los fármacos que son afines a la P-gp funcionan como sustratos que se unen a la glicoproteína y son expulsados a la superficie [8]. Dichos transportadores exhiben un amplio rango de especificidad a sustratos, por lo que es difícil esclarecer la contribución de cada uno para generalizar el transporte de fármacos a través de la piel [9]. Varios de los agentes terapéuticos aplicados

de manera tópica en la piel o para liberación sistémica son sustratos de la P-gp, entre ellos se incluyen inmunosupresores, fármacos, antibióticos, antivirales y corticosteroides [10] [11] [12] [13].

Hashimoto y sus colaboradores [9] muestran evidencia de que la P-gp contribuye en la absorción transdérmica de corticosteroides tópicos como la dexametasona. El reconocimiento del glucocorticoide por la P-gp, así como su transporte se ven afectados por la sustitución y conformación del anillo A [13]. Los corticosteroides son usados para el tratamiento de varias enfermedades de la piel, por ejemplo, de la dermatitis atópica, sin embargo, su uso prolongado puede causar varios efectos adversos ya sean sistémicos como la supresión renal, hiperglicemia y glaucoma o locales como acné o alteraciones en la piel, por lo que se buscan formulaciones y técnicas que disminuyan su absorción y paso a circulación sanguínea favoreciendo la retención en la piel [9].

El principal interés en la formulación de un sistema transdérmico es reducir la frecuencia de administración, ese interés ha sido impulsado por las ventajas que poseen este tipo de sistemas como la sencillez de aplicación, la distribución localizada para la acción sitio-específico [14], los periodos prolongados inter-administración y una menor dosis del fármaco necesaria para alcanzar un efecto terapéutico, con la reducción simultánea de los efectos secundarios no deseados comunes en la mayoría de las formas de administración sistémica [15].

Los análisis más comunes para permeaciones transdérmicas involucran el uso de celdas tipo Franz (Figura 1) [16], con las cuales se puede evaluar de manera sencilla las características promotoras o retardantes de los fármacos o formulaciones mediante un monitoreo a diferentes intervalos de tiempo [17].



**Figura 1.** Esquema general de las celdas tipo Franz

## OBJETIVO(S)

Validar un método analítico para la cuantificación de corticosteroides durante estudios de permeación que nos permita evaluar las propiedades como moduladores de absorción de excipientes inhibidores de la P-gp.

## PARTE EXPERIMENTAL

**Reactivos:** Betametasona (muestra donada por los laboratorios Senosiain. Sicor, Italia), Etanol (Meyer, México), Metanol (Meyer, México), Transcutol® (Gattefosse, Francia), Tween 20® (Sigma, USA), Tween 80® (Sigma, USA), Brij 58® (Sigma, USA), Fostato de sodio mono básico (Avantor, México), NaOH (Meyer, México), agua desionizada, piel de cerdo (orejas recuperadas del rastro).

**Equipos:** Espectrofotómetro Uv-vis (Hitachi U-5100, Tokyo), equipo de disección para la obtención de la piel. Cetrífuga (Hettich EBA 12, Alemania),

**Pruebas de solubilidad.** Se realizaron pruebas de solubilidad en distintas soluciones acuosas: mezclas de buffer de fosfatos 0.2M y pH 7.4 adicionadas con etanol (Be), metanol (Bm) y Transcutol® (Bt) al 20 % (v/v); Tween 20® (Bt20) y Tween 80® (Bt80) al 5%(v/v) y Brij 58® (Bb58) al 5 % (w/v). Para ello, se colocó 1 mL del sistema en un vial y se fue agregando betametasona hasta la aparición de precipitado, se dejó en agitación por 24 hr, trascurrido ese tiempo se centrifugó y un volumen conocido fue llevado a aforo con metanol, obteniendo el barrido en la región UV, usando el espectrofotómetro Uv-vis. Para calcular la concentración se utilizó un estándar de concentración conocida de betametasona.

**Validación del método analítico.** Linealidad del sistema: Para preparar la curva de calibración, el medio seleccionado a partir de las pruebas de solubilidad, se mantuvo en contacto durante 24 h con la parte interna de piel de oreja de cerdo, con el fin de simular las condiciones del medio receptor durante los estudios de permeación. Con este medio, se prepararon soluciones de diferentes concentraciones de fármaco, las cuales se midieron por espectrofotometría Uv-vis a la longitud de onda de máxima absorción. Con el perfil obtenido se seleccionó el intervalo lineal.

Repetibilidad y reproducibilidad: Se prepararon 6 sistemas (2.5, 12.5, 25, 37.5, 50 y 75 µg/mL) los cuales se evaluaron por triplicado y en dos días distintos.

Posteriormente se prepararon 3 concentraciones (dentro del rango lineal de la curva) por sextuplicado y se calculó su %RSD y R<sup>2</sup>.

Límite de detección (LD) y cuantificación (LC): Se prepararon soluciones por triplicado de concentraciones decrecientes (hasta que no se obtuviera respuesta). Los valores de LD y LC se determinaron de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$LD = 3.33 \sigma/m \quad LC = 10 \sigma/m$$

dónde:

$\sigma$  = desviación estándar ("ruido") de la respuesta  
 $m$  = pendiente de la curva de calibración para linealidad

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pruebas de solubilidad

Los sistemas Bt80 y Bb58 aumentaron la solubilidad de la betametasona, sin embargo, se seleccionó el Bb58 ya que durante la prueba se observó que el proceso de solubilización es más rápido que con Bt80, los resultados se concentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentración de saturación de los sistemas.

Sistema	$\lambda_{max}$	mg/mL
Be	200	0.1458
Bm	240	0.1200
Bt	238	0.2380
Bt20	238	0.2340
Bt80	232	1.6825
Bb58	238	1.0033

En la Figura 2 se muestran los espectros de absorción del fármaco en los distintos disolventes donde se probó su solubilidad.

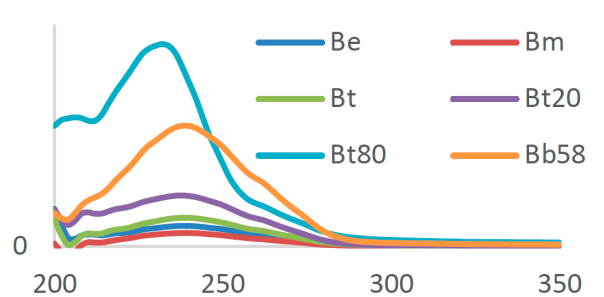


Figura 2. Espectros de absorción de los sistemas

## VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Linealidad del sistema: se observó un intervalo lineal por debajo de los 75 µg/mL (Figura 3). La ecuación de la línea recta obtenida se utilizó para el cálculo de los parámetros de límite de cuantificación y límite de detección.

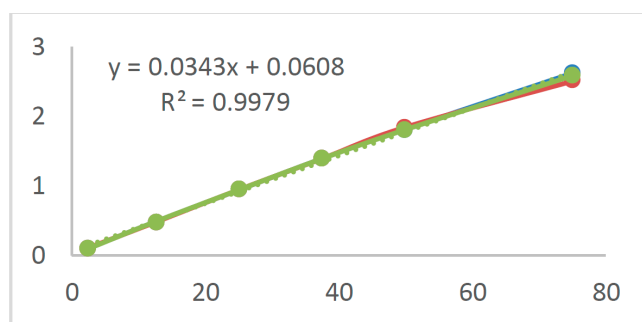


Figura 3. Curva de calibración de betametasona en buffer de fosfatos 0.2M y pH 7.4 con Brij 58® al 5 %.

Repetibilidad y reproducibilidad: Los resultados de cada concentración para ambos días fueron normalizados y comparados mediante una prueba de t student (Tabla 2), suponiendo varianzas iguales, de acuerdo a una prueba de F ( $F=1.42$ ,  $F_{95,17,17}=2.27$ ), con lo que se concluyó que la curva es reproducible con una media de 0.0374, desviación estándar= 0.0023 y un %RSD= 6.1768, con lo que se encuentra dentro de los parámetros de la ICH (%RSD<15%) [18].

En el caso de los tres puntos por sextuplicado se obtuvo una  $R^2=0.9991$  y con los datos normalizados un %RSD= 7.1641 con lo que se determina repetibilidad del sistema.

LC y LD. Se normalizaron los datos obtenidos y se obtuvieron los valores de media= 0.0462, desviación es-

tándar= 0.0088 y %RSD= 19.0757. Según el criterio de aceptación de la ICH en el LC la precisión alrededor del valor medio no debe exceder el 15% de %RSD, excepto para LD, donde no debe exceder el 20%, por lo que los valores obtenidos se encuentran dentro de los parámetros establecidos, por lo que se determinaron los siguientes valores:

$$LD = 0.8483 \mu\text{g/mL}$$

$$LC = 2.5706 \mu\text{g/mL}$$

**Tabla 2.** Comparación de los valores de absorbancia normalizados obtenidos en dos días diferentes.

Prueba t	Variable1	Variable2
<b>Media</b>	0.03768319	0.03717891
<b>Varianza</b>	6.3881E-06	4.4828E-06
<b>Varianza agrupada</b>	5.4355E-06	
<b>gl</b>	34	
<b>Estadístico t</b>	0.6488888	
<b>P(T&lt;=t) 1C</b>	0.26038476	
<b>Valor Crítico para t (1C)</b>	1.69092426	
<b>P(T&lt;=t) 2C</b>	0.52076951	
<b>Valor crítico para t (2C)</b>	2.03224451	

## CONCLUSIONES

Se evaluaron de manera satisfactoria los parámetros de validación del método según los valores establecidos por la ICH, por lo tanto, el método puede ser utilizado para la cuantificación de betametasona en pruebas de permeación, garantizando un intervalo de trabajo adecuado para la evaluación de las características moduladoras de los excipientes inhibidores de la P-gp en el transporte de corticosteroides.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo brindado por PAPIIT IN216016 y PIAPI 1641.

## REFERENCIAS

- [1] Proksch, E., Brandner, J., & Jensen, J. (2008). The skin: an indispensable barrier. *Exp. Dermatol.*, 1063-1072.
- [2] Sang-Chul, S., Cheong-Weon, C., & In-Joon, O. (2000). Enhanced efficacy by percutaneous absorption of piroxicam from the poloxamer gel in rats. *International journal of pharmaceuticals*, 213-218.
- [3] Nangia, A., Bloom, E., Berner, B., & Maibach, H. (1993). Human keratinocyte cell culture for studying skin irritation in man? *Int. J. Pharm(99)*, 67-72.
- [4] Mitragotri, S.; Anissimov, Y.G.; Bunge, A.L.; Frisch, H.F.; Guy, R.H.; Hadgraft, J.; Kasting, G.B.; Lane, M.E.; Roberts, M.S. (2011). Mathematical models of skin permeability: an overview. *Int. J. Pharm.*, 418. 115-129.
- [5] Prausnitz, M., & Langer, R. (2008). Transdermal drug delivery. *Nat. Biotechnol.*, 1261-1268.
- [6] Schoellhammer, C., D., B., & Langer, R. (2014). Skin permeabilization for transdermal drug delivery: recent advances and prospects. *Expert Opin. Drug Deliv.*, 393-407.
- [7] Hashimoto, N., Nakamichi, N., Uwafuji, S., Yoshida, K., Sugiura, T., Tsuji, A., & Kato, Y. (2013). ATP binding cassette transporter in two distinct compartments of the skin contribute to transdermal absorption of a typical substrate. *J. Control. Release*, 54-61.
- [8] Hugger, E., B. Novak, P, Burton, y K., Borchardt, R. Audus. A (2002) Comparison of Commonly Used Polyethoxylated Pharmaceutical Excipients on Their Ability to Inhibit P-glycoprotein Activity In Vitro *Journal of Pharmaceutical Sciences* 91(9) 1991-2002.
- [9] Hashimito, N., Nakamichi, N., Yamazaki, E., Oikawa, M., Masuo, Y., A.H., S., & Kato, Y. (2017). P-Glycoprotein in skin contributes to transdermal absorption of topical corticosteroids. *Int. Journal of Pharmaceutics*, 521. 365-373.
- [10] Ueda, K.; Okamura, N.; Harai, M.; Tanigawara, Y.; Saeki, T.; Kioka, N.; Komano, T.; Hori, R (1992). Human P-glycoprotein transports cortisol, aldosterone and dexamethasone but not progesterone. *J. Biol. Chem.*, 24248-24252.
- [11] Saeki, T., Ueda, K., Tanigawara, Y., Hori, R., & Komano, T. (1993). Human P-glycoprotein transports cyclosporin a and FK506. *J. Biol.Chem.*, 6077-6080.

- [12] Palmberger, T., Hombach, J., & Bernkop-Schnürch, A. (2008). Thiolated chitosan: development and in vitro evaluation of an oral delivery system for acyclovir. *Int. J. Pharm.*, 348. 54-60.
- [13] Yates, C.R.; Chang, C.; Kearbey, J.D.; Yasuda, K.; Schuetz, E.G.; Miller, D.D.; Dalton, T.J.; Swaan, P.W. (2003). Structural determinants of P-glycoprotein-mediated transport of glucocorticoids. *Pharm. Res.*, 303. 323-332.
- [14] Tripton, A., & Dunn, R. (2000). In situ gelling systems in: *Sustained Release Injectable Products*. (J. Senior, & R. M, Edits.) Interpharm Press, 71-102.
- [15] Bermúdez, J., Quinteros, D., Virgili, M., Allemandi, D., & Palma, S. (2012). Recientes avances sobre hidrogeles termosensibles utilizados como sistemas de liberación de fármacos. *Pharmaceutical Technology* (119), 22-27.
- [16] Debandi, María., Nora. Francois, y Marta E. Daraio. (2011). Evaluación de distintas membranas para liberación in vitro de principios activos antice-lulíticos. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 97-105.
- [17] Rai, V., Ghosh, I., Bose, S., Silva, S., Chandra, P., & Michniak-Kohn, B. (2010). A transdermal review on permeation of drug formulations, modifier compounds and delivery methods. *J. Drug del. Sci. Tech*, 75-87.
- [18] International conference on harmonidation of technical requeriments for registration of pharmaceuticals for human use. (2005). *Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology Q2 (R1)*. ICH Harmonised tripartite guideline, 1-1



## DETERMINACION DE CARBONATO DE CALCIO (PRINCIPIO ACTIVO ) EN MEDICAMENTOS GENERICOS UTILIZANDO VALORACIÓN POTENCIOMETRICA POR RETROCESO POTENCIOMETRÍA

Miguel Ángel Pulido Munguía, María Guadalupe Rodríguez Suárez,  
Elia Granados Enríquez\*, Iván Santillán Cano

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

miguel94munguia@gmail.com, mari.rodiguez.a93mail.com,  
granenriq@yahoo.com.mx, ivan\_qfbunam\_87@yahoo.com.mx

### RESUMEN

La valoración por retroceso consiste en la determinación de la cantidad analito contenida en una muestra mediante la adición en exceso de un reactivo de concentración conocida. Tras un período de reacción suficiente, se valora este exceso. La diferencia entre la cantidad total añadida y el exceso proporciona la cantidad equivalente del analito. En el presente proyecto, se cuantificó carbonato de calcio en un medicamento genérico, mediante una valoración pHmétrica por retroceso, con la finalidad de comparar el resultado experimental con lo reportado en el marbete y con los valores de aprobación de la farmacopea de los Estados Unidos de América (USP). Vol. 37 y la norma oficial mexicana NOM-072-SSA1-2012. El resultado obtenido, de análisis por triplicado, en porcentaje de Carbonato de calcio presente en la muestra es de 105.5848% respecto a lo reportado en el marbete por lo que se concluyó que las tabletas de carbonato de calcio contienen no menos de 90% y no más de 110% de la cantidad declarada, por lo tanto, el medicamento comercial cumple con las especificaciones.

**PALABRAS CLAVE:** pHmétrica, Valoración por retroceso, analito, exceso de reactivo, punto de equivalencia

### ANTECEDENTES

En la práctica nos encontramos algunas veces con cationes poco apropiados para ser valorados mediante la técnica complexométrica directa, bien porque no se disponga de un indicador visual coloreado idóneo, por que la formación del complejo principal sea lenta o bien por que el pH al que debe llevarse a cabo la valoración el catión metálico no exista en disolución (debido a su baja acidez), como consecuencia la formación de especies poco solubles y no se logra un punto final bien marcado. En estos casos suele emplearse el método llamado por retroceso, que consiste en añadir un volumen conocido de un reactante de concentración conocida, el cual va en exceso con respecto al catión a valorar, procediendo a continuación a ejercer la acción

apropiada para valorar finalmente el exceso de reactante con otro que no posea los mismos inconvenientes que el primero. [1]

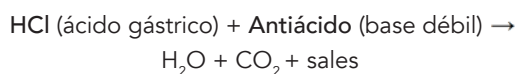
La valoración por retroceso finaliza, cuando se alcanza el punto de equivalencia. El punto de equivalencia de una titulación es un punto teórico que no puede determinarse experimentalmente. Lo que se puede hacer es un estimativo de su valor, observando un cambio asociado a la condición de equivalencia. Al volumen del valorante asociado a este cambio se le conoce como punto final. [2]

Para seguir la valoración por retroceso de manera más exacta se puede utilizar el método pHmétrico ya que se considera uno de las técnicas más exactos, porque el potencial sigue el cambio real de la

actividad y, el punto final coincide directamente con el punto de equivalencia. El proceso consiste en la medición y registro del pH, después de la adición del reactivo valorante.

Para hallar la concentración del analito se construye una curva de valoración graficando los valores de pH observados contra el volumen acumulado (mL) de la solución valorante empleada, en este caso NaOH. [3]

El carbonato de calcio es prácticamente insoluble en agua y en alcohol, por lo que para su determinación se emplea un método indirecto ya que se disuelve con efervescencia en los ácidos acético, clorhídrico y nítrico diluidos. [4] Es utilizado como antiácido, cuyo mecanismo es:



Aunque la función principal del antiácido es la neutralización de la acidez intragástrica, es posible que también promuevan los sistemas de defensa de la mucosa por medio de la estimulación de la producción de prostaglandinas.

## OBJETIVO(S)

A) Determinar el contenido real de  $\text{CaCO}_3$  presente en tabletas de una muestra comercial (calcid) antiácido mediante una valoración pHmétrica en retroceso, con la finalidad comparar el resultado experimental con lo reportado en el marbete ( $\text{CaCO}_3$  500 mg/tableta) e identificar si el contenido de principio activo cumple con lo establecido en USP 37 y la NOM-072-SSA1-2012.

B) Justificar la respuesta gráfica obtenida para reconocer el volumen de punto de equivalencia apropiado en los gráficos par la cuantificación.

## METODOLOGÍA

A) VALORACIÓN DE NaOH 0.1 M

Debido a que se preparó la solución de NaOH se estandariza para obtener la concentración exacta que fue de 0.096 M

B) VALORACIÓN POR RETROCESO DE  $\text{CaCO}_3$  EN EL ANTIACIDO

1.-Pesar 5 tabletas de  $\text{CaCO}_3$  a fin de obtener su peso promedio (1.3128g)

2.-Pulverizar las tabletas en un mortero hasta la obtención de un polvo fino.

3.- Pesar 0.2627 g del polvo de tableta y transferirlos a un vaso de precipitados de 100 mL

4.- Adicionar 30 ml de HCl 0.1 N y colocar la solución en agitación magnética hasta 20 minutos

5.- Valorar el exceso de ácido clorhídrico con el NaOH 0.1 M hasta el punto de equivalencia.

6. Realizar el procedimiento por triplicado a partir del punto 3.

7.-Graficar  $\text{pH} = f(\text{mL de NaOH } 0.1 \text{ M})$

8.- Efectuar los cálculos de contenido de  $\text{CaCO}_3$  /tableta

9.- Concluir si el contenido determinado corresponde al indicado en el marbete de la muestra comercial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

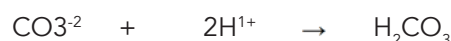
Se realizó la cuantificación de carbonato de calcio en tabletas de un antiácido, por un método indirecto con la técnica potenciométrica.

Como se muestra en la tabla1, el peso aproximado de tableta es de 1.3128 g que de acuerdo al marbete cada tableta contiene 500 mg de carbonato de calcio y se pesó 262.7443 mg de polvo de tableta.

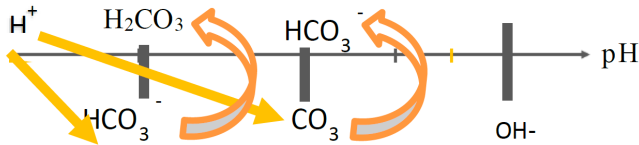
Tabla 1. Concentración de saturación de los sistemas.

Muestra	Peso (g)
1	1.346
2	1.276
3	1.302
4	1.315
5	1.325
<b>Promedio</b>	1.3128
<b>Des Vest</b>	0.0261
<b>% CV</b>	1.9888

Una vez con el polvo de la tableta, se añadió un exceso de la solución valorada 30 ml de HCl 0.1 N el cual reacciona con el elemento de interés  $\text{CaCO}_3$  siendo la reacción global:



Esto permite solubilizar al  $\text{CaCO}_3$  ya que el producto es más soluble, justificándose mediante la siguiente escala



Como se puede observar la reacción se lleva a cabo entre el analito ( $\text{CaCO}_3$ ) + (HCl) que nos da  $\rightarrow$  producto ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) + (HCl) en exceso, teniendo en cuenta el marbete del medicamento y la reacción de estequiometría 1:2 teóricamente se pesaron 60 mg de  $\text{CO}_3$  equivalentes a 1 mmol de  $\text{CO}_3$ , y de los 30 mL colocados de HCl 0.1M, solo reaccionan 20 mL quedando un exceso de 10 ml de HCl 0.1 N lo que consumiría 10 mL aproximados de NaOH 0.1 M

Para realizar la cuantificación de lo que realmente contiene del antiácido, el exceso desconocido de reactivo HCl 0.1 N de la primera reacción, se titula con otro reactivo, en este caso se empleó NaOH (0.096 M) determinándose así la cantidad de HCl que no ha participado en la primera reacción química:

Las reacciones que ocurren de acuerdo a la escala al valorar serán:

- 1)  $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
- 2)  $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$
- 3)  $\text{OH}^- + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$

Se obtiene la siguiente gráfica

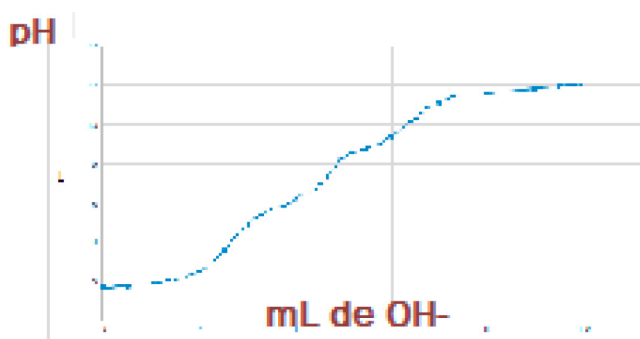


Figura 1. pH = f (Volumen de NaOH)

Debido a que es difícil obtener con precisión el volumen de punto de equivalencia se realiza el siguiente

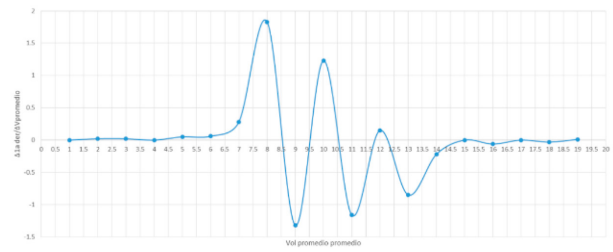


Figura 2. Gráfica de la 2da derivada de la valoración pH métrica (Muestra 1)

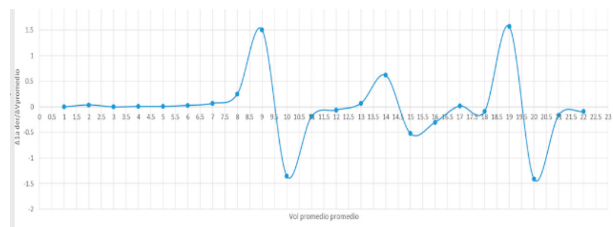


Figura 3. Gráfica de la 2da derivada de la valoración pH métrica (muestra 2)

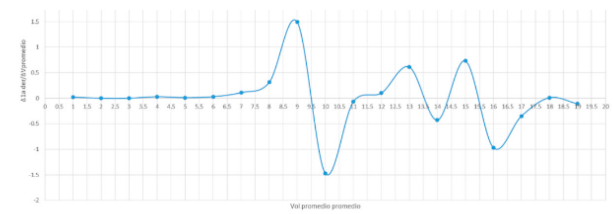


Figura 4. Gráfica de la 2da derivada de la valoración pH métrica (muestra 3)

Como se puede observar en la tabla 2, se gastó aproximadamente entre 8.5 y 9.5 ml de NaOH en el punto de equivalencia con el HCl correspondiente a la primera reacción, por lo tanto de los 30 ml agregados de HCl, de 20.5 a 21.5 mL a reaccionaron con el Carbonato de calcio, realizando los cálculos presentados en la tabla 3, el contenido promedio de carbonato de calcio por tableta es 105.58% respecto al marbete.



**Tabla 2.** Cantidad de  $\text{CaCO}_3$  presente en la muestra comercial.

Muestra	Muestra pesada (g)	Volumen NaOH (mL)	mg $\text{CaCO}_3$ (mg)
1	0.2630	8.5	81.6709
2	0.2640	9.5	91.2792
3	0.2640	9.5	91.2792

**Tabla 3.** Cantidad de  $\text{CaCO}_3$  presente en la tableta de una muestra comercial (Calcid)

Muestra	mg de $\text{CaCO}_3$ en la muestra (mg)
1	545.5602 mg
2	519.1059 mg
3	519.1059 mg
Promedio	527.924
Des Vest	15.2733
% CV	2.8931

La USP 37 indica una aceptación de uniformidad de dosis +/- 10% (90- 110%) para tabletas de acuerdo a lo indicado en el marbete, por lo tanto, el medicamento CALCID del lote numero 26700817 cumple con las especificaciones.

## CONCLUSIONES

Se logró realizar la cuantificación de carbonato de calcio en tabletas del medicamento CALCID (105.5848%) por medio del método de valoración en retroceso con la técnica potenciométrica para obtener una curva de valoración, con la finalidad de conseguir datos experimentales confiables que nos permitan corroborar y comparar la cantidad de principio activo que contiene cada tableta con lo especificado en el marbete, de tal forma que se asegure el cumplimiento con los valores de aprobación de la farmacopea de los Estados Unidos de América (USP). Vol. 37 y la norma oficial mexicana NOM-072-SSA1-2012.

Se obtiene un procedimiento sencillo y rápido para el análisis confiable de este antiácido utilizando los gráficos 2ª derivada del pH reconociendo el volumen de punto de equivalencia en base al orden de reacciones

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo recibido al proyecto PAPIME "Fortalecimiento de la Enseñanza de las asignaturas de técnicas analíticas avanzadas y laboratorio de paquete terminal en las licenciaturas de Química" PE214218.

## REFERENCIAS

- [1] Sánchez P., Sanz, A., Química Analítica Básica. Ediciones Simancas Valladolid.
- [2] Harris D. (2007). Análisis Químico Cuantitativo. 3ª ed. Barcelona España: Editorial Reverte
- [3] Titulación potenciométrica (2018). Universidad Católica Andres Bello Guayana. Recuperado de: <http://guayanaweb.ucab.edu.ve>
- [4] Gennaro Alfonso R., Remington, (2003). Farmacia. 2a edición. Buenos Aires: Medica panamericana.

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE *Rhus microphylla*, "LIMILLA", PRODUCIDA EN MICHOACÁN DE OCAMPO

Laura Yaneth Pureco Sosa<sup>1</sup>, Raúl Eduardo Herrejón Bautista<sup>1</sup>, Víctor Meza Carmen<sup>2</sup>,  
Lucia Matilde Nava Barrios<sup>1</sup>, Rafael Ortiz Alvarado<sup>\*1,2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

<sup>2</sup>Cuerpo Académico de Fisiopatologías-211 de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[rortizalvarado@gmail.com](mailto:rortizalvarado@gmail.com)

### RESUMEN

México ofrece una diversidad de regiones climáticas, permitiendo el desarrollo de sistemas biológicos, endémicos, que son explotados de manera no sistemática y no han sido caracterizados cabalmente. Como la denominada "limilla" (*Rhus microphylla*), es un frutillo que se produce en los municipios del Bajío en el Estado de Michoacán, Guanajuato, San Luis Potosí. El presente trabajo tiene como objetivo purificar y caracterizar químicamente al aceite de la semilla de *R. microphylla*, por métodos analíticos y ofrecer una alternativa para la obtención de alimentos con valor nutrimental. La semilla de *R. microphylla* se trituro y seco, para posteriormente extraer por solventes orgánicos, el aceite el cual fue analizado por cromatografía de gases, encontrando una concentración del 85% de ácidos grasos poliinsaturados, que representan una fuente importante de ácidos grasos esenciales, para el consumo humano, y de esta manera poder potenciar la producción y explotación sustentable de productos endémicos de México.

**PALABRAS CLAVE:** Agrillo, limilla de la sierra, *Rhus microphylla*, Ácidos grasos poliinsaturados.

### ANTECEDENTES

México debido a la particularidad de su geografía ha favorecido el desarrollo de diversas especies, las cuales son en muchos casos endémicas o delimitadas por estas condiciones climáticas y geográficas, así México se coloca como un país Megadiverso [1], como ejemplo encontramos, en la región central y las zonas serranas del Centro Occidente del País que se desarrolla una planta la cual tiene varios nombres coloquiales, agrillo, limilla, lima de la sierra, la cual ha sido caracterizada taxonómicamente como parte de la familia Anacardiaceae y del género *Rhus* especie *microphylla*, la cual está emparentada con la nuez de la india *Anacardium occidentale* y el mango *Mangifera indica*. Así *R. microphylla* se consume de manera local en las zonas

rurales del Bajío y su explotación comercial no se encuentra sistematizada, por lo que se debe explorar la composición química del frutillo en su conjunto, el cual tiene una cutícula roja o naranja intenso y presenta hojas pequeñas, con muy poca pulpa o mesocarpio, el fruto se caracteriza por poseer una semilla, la cual representa hasta el 70% del peso total del fruto (Figura 1) según la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). Cabe mencionarse que este frutillo es consumido de manera local y se aprovecha de manera empírica, por lo que puede contener de ácidos grasos importantes para la nutrición humana, la cual debe estar diversificada en lo referente al aporte de diversas sustancias nutrimentales [1], [2].



**Figura 1.** Fruto de *Rhus microphylla* y sus hojas son características para zonas con precipitación pluvial moderada con suelos pobres en retención hídrica.

## OBJETIVO

Determinar el perfil lipídico del aceite de *Rhus microphylla*, a través de métodos analíticos, como parte de la caracterización cabal del sistema biológico.

## PARTE EXPERIMENTAL

El residuo sólido se recuperó y se sometió por un espacio de 18 horas a un tratamiento térmico, por luz directa, de una lámpara incandescente de 150 watts de potencia, sobre una superficie de convección, acero grado alimenticio de 3 mm de espesor. Al término se obtuvo un residuo sólido el cual fue tamizado, liberando las semillas del fruto agrillo. Las semillas de agrillo se sometieron a un molido en mortero, para la extracción por solventes en equipo Soxhlet.

### Extracción Soxhlet.

Las semillas molidas, en peso seco, se sometieron a extracción por solventes no polares, en equipo Soxhlet, realizando tres extracciones con éter etílico, y cinco extracciones con pentano, utilizando 3 gramos del material biológico en cada extracción.

### Extracción por microondas.

Las semillas molidas, en peso seco, se sometieron a un tratamiento térmico por inducción, en horno de microondas bajo el siguiente protocolo: en cada extracción se utilizaron 3 gramos de material molido al cual se le agregó 20 mL de agua bidestilada, y se dejó en reposo por una noche a una temperatura de 8°C, a la mañana siguiente, el vaso de precipi-

tados conteniendo el material molido con el agua se dejó en reposo por un hora a temperatura ambiente y se llevó a cabo el tratamiento en horno de microondas, con una potencia de 0.25-0.33 kwatts/h. Por un espacio de 20 minutos, obteniendo una temperatura de la mezcla de 88-90°C  $\pm$  1°C.

### Centrifugación

El residuo se colectó y se transfirió a tubos de polipropileno de 1.5 mL de capacidad (Eppendorf) y sometieron a centrifugación por espacio de 15 minutos a 6000 g a una temperatura de 4°C. Se recuperó el sobrenadante y se transfirió a tubos limpios de polipropileno de 1.5 mL de capacidad. El sobrenadante se sometió a refrigeración durante 18 horas a una temperatura de 4 a 8°C, los tubos se sometieron a centrifugación a temperatura ambiente por un espacio de 10 minutos y 3000 g. El contenido oleoso se colectó por aspiración con punta con filtro y se guardó en viales de rosca de 2 mL. Se realizó un análisis por cromatografía de gases obteniendo el perfil lipídico de los ácidos grasos contenidos en el aceite de *R. microphylla*, (Tabla 2), con el aceite de la semilla de *R. microphylla*, hidrolizado. Adicionalmente se corrió un análisis para observar la abundancia de las especies de C:18 poliinsaturados y la forma en la que se encuentran el aceite de *R. microphylla*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las semillas de los frutos de *R. microphylla* provenientes de residuos sólidos, son una fuente de ácidos grasos de tipo, C:18 poliinsaturados, como son el ácido linoleico y linolenico, utilizando tratamiento por microondas en cinco diferentes extracciones, se obtiene un rendimiento del 16.83% y una desviación estándar de  $\pm$ 1.58, de cinco extracciones diferentes por éter etílico se obtiene un rendimiento promedio del 15.18% y  $\pm$ 1.44 de desviación estándar y del 12.40 % con una desviación estándar de  $\pm$ 1.08 con pentano en cinco extracciones diferentes (ver Tabla 1), por lo que el tratamiento por microondas, es una alternativa metodológica para la obtención de ácidos grasos de alto valor comercial, sin la implicación del uso de solventes químicos de tipo no polar, adicionalmente abre la posibilidad de poder obtener ácidos grasos de tipo poliinsaturados de tipo virgen, con el uso de tecnologías emergentes o alternativas, como la aquí mostrada para el fruto de interés (Figura 1).

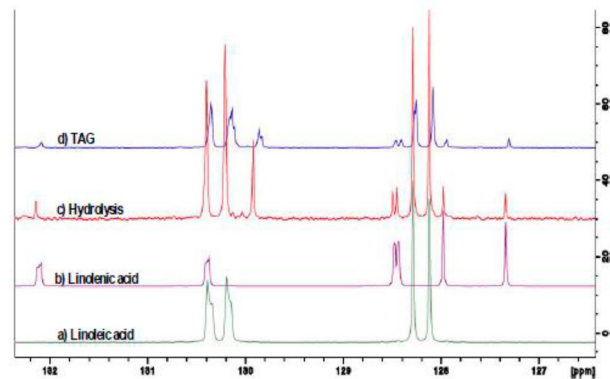
La propuesta de la nueva tecnología del aceite y pasta de *R. microphylla* está fundamentada en dos efectos de las ondas electromagnéticas sobre el residuo agroalimentario del fruto: 1) Rompimiento de membranas y paredes de las células que contienen el aceite. 2) La inactivación de enzimas que catalizan el oscurecimiento y otras reacciones oxidativas. Al ser el aceite transparente a las microondas conservan las propiedades nutraceuticas de estos productos, al no contener restos de solventes químicos [2], [9], [10], [3]. Esto es un efecto específico que se determinó en la aplicación de microondas, que minimiza el deterioro de los nutraceuticos y ácidos grasos esenciales de la semilla de agrillo, obteniendo dos productos: el aceite extra virgen y una pasta reducida en calorías que puede utilizarse para composteo [10]. De esta forma, esta tecnología tiene tres ventajas: 1) Es menos contaminante al utilizar la pasta de alta calidad y no emplear disolventes orgánicos o soluciones acuosas que producen aguas residuales y 2) Conserva las propiedades nutraceuticas del agrillo en productos de alta calidad, como son los ácidos grasos poliinsaturados, linoleico y linolenico (Tabla 2), [4], [5], [10] y 3) como se puede observar el uso de microondas y centrifugación permite obtener un rendimiento superior a los métodos de extracción por solventes orgánicos, como se aprecia y se compara respecto al porcentaje de aceite obtenido por el método por microondas respecto a los otros métodos químicos observado en la Tabla 2.

**Tabla 1.** Porcentaje de rendimiento en la extracción del aceite de la semilla de *Rhus microphylla*

Tratamiento de extracción	Microondas	Éter etílico	Pentano
Rendimiento Porcentaje en Peso Seco	16.83	15.18%	12.40%
Desviación Estándar	±1.58	±1.44	± 1.08

El proceso es flexible al poder ser aplicado en un esquema por lotes, en una planta modular, en procesos continuos. Incluye la posibilidad de darle al producto las características tales para obtener una pasta congelada o deshidratada. Los nutraceuticos tales como la vitamina E, fitoesterol, luteína y clorofilas son sustancias benéficas para la salud, que se encuentran solubles en el aceite extra virgen de *R. microphylla* obtenido por la

tecnología objeto de esta invención, lo que hace al producto rico en estos ácidos grasos poliinsaturados [12], en comparación con los aceites existentes en el mercado [5], [7].



**Figura 2.** Resonancia magnética nuclear de las especies de ácidos grasos poliinsaturados mayoritarios en el aceite de *R. fruticosus*, a) ácido linoleico, b) ácido linolenico, c) aceite hidrolizado y d) aceite sin hidrolizar en forma de triacil-gliceroles (TAG).

**Tabla 2.** Perfil lipídico del aceite de la semilla de *R. microphylla*

Componente	Fórmula	Tiempo de retención	% de Concentración
Linoléico	C18:2n6c	31.41	57.85
Linolenico	C18:3:9,12,15	35.64	7.73
Palmitoleico	C16:1	27.82	0.10
Cis-Oleico	C18:2n6c	31.41	23.83
Cis-11 Eicosanoico	C21:0	35.64	7.2

En el presente trabajo, se presenta un mapa de ruta crítico referente a la utilización de la semilla de agrillo, proveniente de los residuos sólidos generados, en la agroindustria de este sistema biológico, para la obtención de ácidos grasos poliinsaturados (Tabla 3 y Figura 2) de alto valor comercial, por medio de tecnologías alternativas, comparando con los sistemas tradicionales de extracción química, se plantea un uso a los residuos sólidos agroindustriales.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se concluye que la semilla del fruto *R. microphylla* es una materia prima de importancia nutricional mayor para la obtención potencial de ácidos grasos poliinsaturados de tipo C:18 lo que podría dar una alternativa de comercialización a los productores de este sistema producto de la zarzamora y el uso de tecnologías alternativas extractivas como las microondas, permite poder acrecentar los métodos de extracción de ácidos grasos con valor comercial como los ácidos grasos poliinsaturados.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto soportado por la Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Convocatoria CIC 2018-2019, como apoyo a la investigación científica y al CAEC-211 DE FISIOPATOLOGÍAS-211.

## REFERENCIAS

- [1] Sarukhán J, Urquiza-Haas T, Koleff P, Carabias J, Dirzo R, Ezcurra E, Cerdeira-Estrada S, Soberón J. (2015). Strategic Actions to Value, Conserve, and Restore the Natural Capital of Megadiversity Countries: The Case of Mexico. *Bioscience* 65(2):164-173.
- [2] Zia-Ul-Haq M., Riaz M., De Feo V., Jaafar H.Z., Moga M. (2014). *Rubus fruticosus* L.: constituents, biological activities and health related uses. *Molecules*. 19(8):10998-1
- [3] Akanda M.J., Sarker M.Z., Ferdosh S., Manap M.Y., Ab Rahman N.N., Ab Kadir M.O. (2012). Applications of supercritical fluid extraction (SFE) of palm oil and oil from natural sources. *Molecules*. 10;17(2):1764-94.
- [4] Boeing J.S., Barizão E.O., Silva B.C., Montanher P.F., de Cinque Almeida V., [3] Visentainer J.V. (2014). Evaluation of solvent effect on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacities from the berries: application of principal component analysis. *Chem. Cent J*. 22;8(1):48.
- [5] Bushman B.S., Phillips B., Isbell T. (2004). Chemical composition of caneberry (*Rubus* spp.) seeds and oils and their antioxidant potential. *J Agric Food Chem*. 52(26):7982-7.
- [6] do Nascimento Nunes MC, Nicometo M, Emond JP, Melis RB, Uysal I. (2014). Improvement in fresh fruit and vegetable logistics quality: berry logistics field studies. *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci*. 5; 372(2017):20130307.
- [7] Hassimotto N.M., Pinto Mda. S., Lajolo F.M. (2008). Antioxidant status in humans after consumption of blackberry (*Rubus fruticosus* L.) juices with and without defatted milk. *J Agric. Food Chem*. 56(24):11727-33.
- [8] Matthäus B. (2002). Antioxidant activity of extracts obtained from residues of different oil seeds. *J. Agric. Food Chem*. 50(12):3444-52.130
- [9] Moreno A.O., Dorantes L., Galíndez J., Guzmán R.I. (2003). Effect of different extraction methods on fatty acids, volatile compounds, and physical and chemical properties of avocado (*Persea americana* Mill.) oil. *J. Agric. Food Chem*. 51(8):2216-21.
- [10] Reddy M., Moodley R., Jonnalagadda S.B. (2012). Fatty acid profile and elemental content of avocado (*Persea americana* Mill.) oil--effect of extraction methods. *J Environ. Sci. Health. B*. 47(6):529-37.
- [11] Schott A.B., Vukicevic S., Bohn I., Andersson T. (2013). Potentials for food waste minimization and effects on potential biogas production through anaerobic digestion. *Waste Manag Res*. 31(8):811-9.
- [12] Vitaglione P., Savarese M., Paduano A., Scalfi L., Fogliano V., Sacchi R. (2013). Healthy virgin olive oil: a matter of bitterness. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 54(8):2216-21.



## SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE UN MATERIAL DEL TIPO COMPUESTO PARTIENDO DE UN RESIDUO LIGNOCELULÓSICO Y UN DENDRÍMERO DE POLIAMIDOAMINA (PAMAM).

Alberto Alejandro Fajardo De La Rosa<sup>1</sup>, \*Oscar Hernández Meléndez<sup>1</sup>, \*Eduardo Bárzana García<sup>1</sup>,  
María Inés Nicolás Vázquez<sup>3</sup>, José de Jesús García Valdés<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, UNAM,  
Circuito Exterior S/N, Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510 Ciudad de México, CDMX.

<sup>2</sup>Departamento de Química Analítica, Facultad de Química, UNAM,  
Circuito Exterior S/N, Coyoacán, Cd. Universitaria, 04510 Ciudad de México, CDMX.

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias Químicas, Campo 1, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM,  
Cuautitlán Izcalli, C.P. 54740, Estado de México; México.

### RESUMEN

Los dendrímeros PAMAM son una clase de macromoléculas estructuralmente controladas que representan arquitecturas poliméricas de cuarta clase y naturaleza monodispersa. Los dendrímeros PAMAM han sido estudiados en los últimos años y son materiales relevantes para aplicaciones en nanomedicina y nanotecnología. En este proyecto se llevó a cabo la síntesis de 4 diferentes dendrímeros partiendo de núcleos de etilendiamina que fueron caracterizados por técnicas espectroscópicas (FT-IR), RMN, técnicas electroanalíticas y química computacional (DFT).

**PALABRAS CLAVE:** Generación (G), PAMAM, Dendríticas, Compósito, B3LYP/631G(d,p).

### ANTECEDENTES

Los dendrímeros de poliamidoamina (PAMAM) son polímeros de clase estrella de gran interés debido a su arquitectura bien definida y tamaño controlado [1]. Poseen similitud a proteínas globulares, sensibilidad al pH, capacidad de encapsulación, con una gran cantidad de aminas primarias disponibles en la periferia [2]. El proceso de desprotonación y de protonación ocurre a diferentes rangos de pH, lo que permite utilizar esta propiedad para producir estructuras tensadas a pH's bajos (2-6), así como estructuras comprimidas a pH's altos (9-11) [3,4]. Esta propiedad de los dendrímeros PAMAM permite su uso como transportadores macromoleculares y nanoacarreadores de sustancias orgánicas e inorgánicas [5].

Los dendrímeros PAMAM se han probado en diversas aplicaciones biomédicas, catalíticas, como acarreadores de nanopartículas, marcador de fluorescencia, entre otras [6,7]. De la misma manera al ser funcionalizados o implantados en diferentes materiales pueden presentar diferentes propiedades de interés como biocompatibilidad, área específica, resistencia mecánica y biodegradabilidad [8].

### MÉTODOS DE SÍNTESIS.

**Método divergente:**

En el método divergente el dendrímero crece desde el núcleo de la estructura hasta la periferia. Para ello, los grupos funcionales que posee el núcleo se hacen reaccionar con la unidad repetitiva seleccio-

nada, dando lugar a la primera generación de la macromolécula [9]. A continuación, la activación de todos los grupos funcionales del extremo terminal forman los centros de ramificación del monómero sobre los que crecerá la siguiente generación del dendrímero. A medida que aumenta la generación, aumenta la densidad de grupos funcionales en la periferia y, por tanto, aumenta la probabilidad de formación de defectos en la estructura [10].

#### Método convergente:

A diferencia del método anterior, el método convergente empieza a construir cada rama dendrítica o dendrón de forma independiente, es decir, desde la superficie hacia el interior [11]. Una vez alcanzado el tamaño adecuado se anclan las ramas a los grupos funcionales del núcleo. Mediante este método se disminuye la probabilidad de formación de defectos en la estructura, ya que la superficie de cada dendrón posee un menor número de grupos reactivos. Sin embargo, a medida que crecen los dendrones el impedimento estérico aumenta, haciendo que la unión final al núcleo se vea obstaculizada [12].

#### Método mixto:

El método mixto supone una combinación de los métodos descritos anteriormente, haciendo reaccionar las ramas sintetizadas mediante el método convergente con un núcleo sintetizado mediante el método divergente. Con ello se pueden evitar los inconvenientes de los métodos mencionados [13].

#### Estructura y composición química de los materiales lignocelulósicos.

La biomasa lignocelulósica tiene una proporción aproximada en peso del 48% de carbono, 6% de hidrógeno y 45% de oxígeno, y menos del 1% de materia inorgánica como componente minoritario, aunque dicha composición depende de la procedencia y de factores medio ambientales [14]. Los residuos lignocelulósicos presentan una estructura rígida compuesta por una matriz polimérica cuyos principales constituyentes son celulosa ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, hemicelulosa ( $C_5H_8O_4$ )<sub>n</sub> y lignina [ $C_9H_{10}O_3(OCH_3)_3$ ]<sub>n</sub> [15].

La celulosa es uno de los biopolímeros más abundantes en la Tierra, ya que es el homopolímero mayoritario de las paredes celulares de las plantas

donde varias moléculas de D-glucosa están atadas por enlaces glucosídicos β-1,4. Las moléculas de D-glucosa forman cadenas lineales largas a nivel de microfibrillas, unidas por puentes de hidrógeno intra e intermoleculares [16].

#### Importancia de la química computacional.

Actualmente los recursos computacionales nos permiten utilizar herramientas de análisis fino en investigación química, fortaleciendo las técnicas clásicas de análisis. Estas técnicas de igual manera han ido evolucionando gracias al avance exponencial de las herramientas de cómputo, el avance de las matemáticas, la física, y la química teórica resultando en métodos numéricos, analíticos y nuevos modelos teóricos [18]. Hoy en día la química experimental y la química computacional se han vinculado de tal manera que es posible realizar cálculos teóricos con niveles elevados y confiables. Los programas utilizados en química computacional poseen una interfase gráfica que facilita el uso y visualización de las moléculas. Además, esta metodología teórica necesita el conocimiento sólido de las propiedades físicas, químicas y experimentales de las moléculas para realizar estructuras razonables. De la misma manera se debe considerar que los diversos métodos teóricos incorporados en los programas demandan cantidades diferentes de recursos de cómputo. De este punto surge un problema en algunos casos al cuando se trata de moléculas con gran cantidad de átomos y donde los recursos se ven limitados por la demanda de hardware [19].

La química computacional apoyada en los modelos matemáticos permite desarrollar en un ambiente gráfico con una estructura estable, donde se tiene un conjunto de núcleos y el número de electrones de cada molécula [18]. Esto permite calcular propiedades como:

- Arreglos geométricos de los átomos de las moléculas y sus estados de transición.
- Las energías relativas de una o varias moléculas.
- Propiedades como momentos dipolares o polarizabilidad.
- Propiedades espectroscópicas como desplazamientos químicos, frecuencias vibracionales, estados excitados por absorción de energía, etc.
- Propiedades termodinámicas.
- Propiedades cinéticas.
- Dependencia de propiedades como cambios de estructuras a lo largo de una reacción o del tiempo.

## OBJETIVO(S).

Caracterizar por diferentes métodos una serie de dendrímeros del tipo PAMAM, partiendo de la generación 1 (G1) a la generación 4 (G4), para su posterior anclaje en una matriz lignocelulósica y determinar las propiedades del material compuesto.

## EXPERIMENTAL.

### Materiales:

Etilendiamina R.A., acrilato de metilo R.A., suministrados por Sigma Aldrich® y se utilizaron directamente sin ninguna purificación o tratamiento adicional. El metanol 99.8% fue secado con hidruro de calcio y destilado posteriormente para obtener metanol anhidro, ambos reactivos fueron suministrados por Sigma Aldrich®.

Los espectros infrarrojos se registraron en un instrumento Perkin-Elmer Spectrum 400 a partir de películas delgadas líquidas sobre la superficie del detector. Los espectros de  $^1\text{H}$  NMR y  $^{13}\text{C}$  NMR se registraron en un espectrómetro Agilent 400 DVNMRS. Las curvas para la determinación de propiedades ácido-base se midieron en un micro-dispensador Hamilton Microlab 600 Series y las lecturas de pH fueron tomadas con un potenciómetro JENWAY Modelo 3020.

El modelado molecular se realizó empleando programas especializados de química Gaussian05 (visualizador) y Gaussian'09® (Desarrolla la determinación teórica), este último para trabajo en paralelo (DGTIC-UNAM-LANCAD-UNAM-DGTIC-165).

### Síntesis de dendrímeros PAMAM.

Dendrímero PAMAM con 4 grupos amino terminales (G1). Se añadió acrilato de metilo (14.3 g, 0.166 mol) lentamente a una disolución de etilendiamina (2.0 g, 33.3 mmol) en metanol (30 mL). La reacción se agitó durante 48 horas en ausencia de luz en un baño a 20°C. Los reactivos en exceso y el disolvente se eliminaron al vacío. Rendimiento 98.5%.

El dendrímero terminado en éster G1.5 (2.0 g, 4.95 mmol) se disolvió en metanol (20 mL) y se añadió gota a gota (bajo agitación) una disolución de etilendiamina (22.3 g, 0.371 mol) en metanol (30 mL). La disolución resultante se agitó durante 5 días (en ausencia de luz) en un baño a 20°C. El exceso de etilendiamina y disolvente se eliminaron al vacío. Rendimiento 97.2%.

Dendrímero PAMAM con 8 grupos amino terminales (G2). Se añadió acrilato de metilo (14.3 g, 0.166 mol) lentamente a una disolución del dendrímero G1 (2.0 g, 3.87 mmol) en metanol (30 mL). La reacción se agitó

durante 48 horas (en ausencia de luz) en un baño a 20°C. Los reactivos en exceso y el disolvente se eliminaron al vacío. Rendimiento 98.15%.

El dendrímero terminado en éster G2.5 (2.0 g 1.67 mmol) se disolvió en metanol (20 mL) y se añadió gota a gota (bajo agitación) una disolución de etilendiamina (22.0 g, 0.366 mol) en metanol (30 mL). La disolución resultante se agitó durante 8 días (en ausencia de luz) en un baño a 20°C. El exceso de etilendiamina y disolvente se eliminaron al vacío. Rendimiento 97.2%.

Dendrímero PAMAM con 16 grupos amino terminales (G3).

Se añadió acrilato de metilo (14.3 g, 0.166 mol) lentamente a una disolución del dendrímero G2 (2.0 g, 1.39 mmol) en metanol (30 mL). La reacción se agitó durante 48 horas (en ausencia de luz) en un baño a 20°C. Los reactivos en exceso y el disolvente se eliminaron al vacío. Rendimiento 98.15%.

El dendrímero terminado en éster G3.5 (2.0 g 0.712 mmol) se disolvió en metanol (20 mL) y se añadió gota a gota (bajo agitación) una disolución de etilendiamina (24.0 g, 0.399 mol) en metanol (30 mL). La disolución resultante se agitó durante 8 días (en ausencia de luz) en un baño a 20°C. El exceso de etilendiamina y disolvente se eliminaron al vacío. Rendimiento 96.3%.

Dendrímero PAMAM con 32 grupos amino terminales (G4).

Se añadió acrilato de metilo (14.3 g, 0.166 mol) lentamente a una disolución del dendrímero G3 (2.0 g, 0.619 mmol) en metanol (30 mL). La reacción se agitó durante 48 horas (en ausencia de luz) en un baño a 20°C y los reactivos en exceso y el disolvente se eliminaron al vacío. Rendimiento 98.8%.

El dendrímero terminado en éster G4.5 (2.0 g 0.332 mmol) se recogió en metanol (20 mL) y se añadió gota a gota a una solución agitada de etilendiamina (26.0 g, 0.4325 mol) en metanol (30 mL). La solución resultante se agitó durante 12 días en medio oscuro en un baño a 20°C. El exceso de etilendiamina y disolvente se eliminaron al vacío. Rendimiento 98.52%.

### Estudio Computacional.

Las moléculas obtenidas fueron simuladas para ser analizadas mediante métodos de la química computacional. En la optimización de la molécula se logró una distribución y selección del confórmero

más estable. Además, las geometrías seleccionadas se optimizaron apropiadamente mediante el nivel de teoría DFT empleando el funcional híbrido B3LYP y el conjunto de funcionales base 6-31G (d, p) [20].

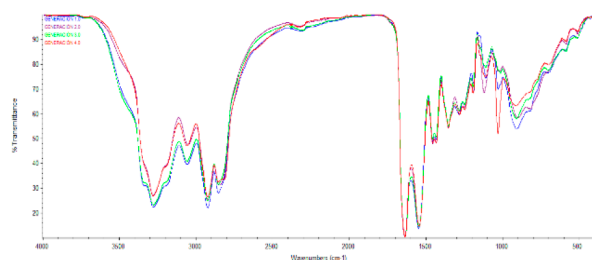
#### Estudio Ácido-Base.

Los dendrímeros obtenidos fueron pesados (20-23 mg) y colocados en 15 mL de agua destilada, posteriormente se titularon con HCl (1M). Las adiciones de HCl se realizaron adicionando 4  $\mu$ L cada 4 seg. por medio de un micro-dispensador Hamilton Microlab 600 Series y las lecturas de pH fueron tomadas con un potenciómetro JENWAY Modelo 3020.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Espectroscopía IR.

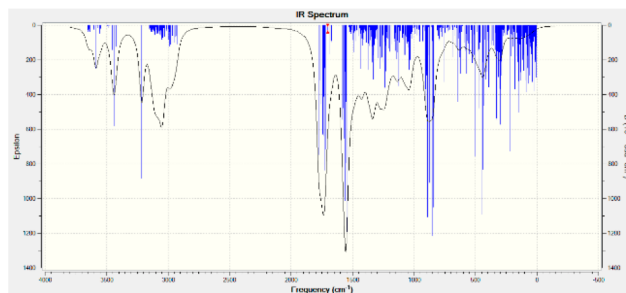
La serie de dendrímeros G1, G2, G3 y G4 fue caracterizada por medio de la espectroscopía FT-IR, presentando una serie de bandas características para todas las generaciones (Figura 1), ya que todas las moléculas son similares, pero con un grado de ramificación diferente.



**Figura 1.** Resultados experimentales de FT-IR para las diferentes generaciones de dendrímeros PAMAM.

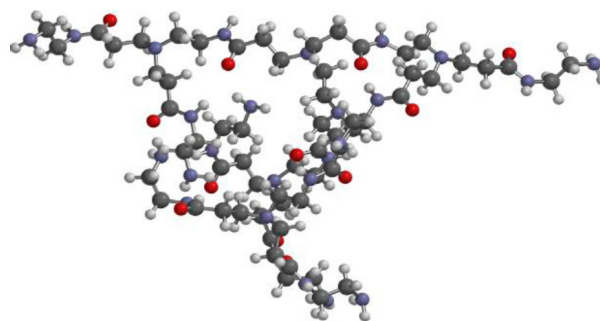
Se aprecia la banda  $3282.2\text{ cm}^{-1}$  (tensión relacionada con aminas primarias simétrica y asimétrica traslapadas), y la banda  $3060.5\text{ cm}^{-1}$  (tensión de amidas secundarias simétrica:  $2926.7\text{ cm}^{-1}$  y asimétrica:  $2857.6\text{ cm}^{-1}$ ), para CH<sub>2</sub> simétrica:  $1640\text{ cm}^{-1}$  y la tensión del carbonilo C=O:  $1550.3\text{ cm}^{-1}$  (flexión de amida).

El estudio a nivel teórico de IR arroja que las moléculas presentan en todos los casos las vibraciones características de los grupos funcionales más repetitivos en la molécula, Figura 2.



**Figura 2.** Resultados teóricos de FT-IR para la generación 2 dendrímeros PAMAM.

El resultado obtenido a nivel teórico es multiplicado por el factor de corrección asociado al error computacional del método DFT B3LYP/6-31-G (d,p), siendo éste (0.961), Figura 3. Los datos arrojados fueron  $3303.09\text{ cm}^{-1}$  y  $3446.46\text{ cm}^{-1}$  (tensión de aminas primarias asimétricas y simétricas respectivamente),  $3088.49\text{ cm}^{-1}$  (tensión simétrica de amidas secundarias),  $2873.56\text{ cm}^{-1}$  y  $2811.68\text{ cm}^{-1}$  (tensión simétrica y asimétrica para CH<sub>2</sub> respectivamente),  $1657\text{ cm}^{-1}$  tensión del carbonilo C=O y  $1497.51\text{ cm}^{-1}$  (flexión de amida). Las bandas características obtenidas por los modelos computacionales permiten identificar los grupos funcionales gracias al interferograma que se obtiene. Estas señales de vibración se obtienen para una molécula en estado gaseoso y aislado.



**Figura 3.** Geometría optimizada de un dendrímero Generación 2 (G2) mediante el funcional B3LYP/6-31G (d,p).

A partir de los resultados obtenidos por medio de los análisis teórico-experimentales se tiene la siguiente Tabla 1, donde se muestran los resultados comparados para las vibraciones específicas.

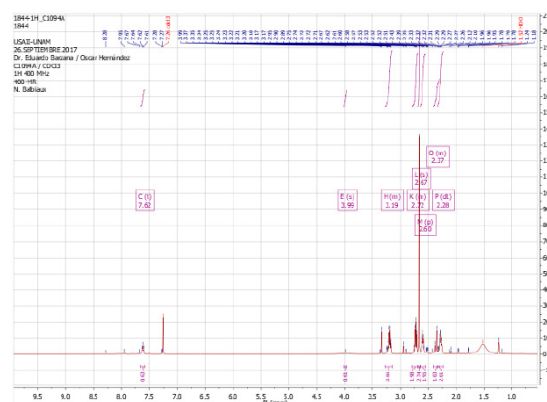
BANDA	EXPERIMENTAL ( $\text{cm}^{-1}$ )	TEÓRICO ESCALADO ( $\text{cm}^{-1}$ )
NH2 (SIMETRICO)	3282.12	3303.09
RCONHR'	3060.64	3088.49
CH2	2996.77	2873.56
CH2 (ASIMÉTRICO)	2857.67	2811.68
C=O	1640.07	1657.89
RCONHR'	1550.67	1497.51

**Tabla 1.** Vibraciones de enlace seleccionadas, teórica y experimental.

En la Tabla 1 se presentan los valores de los resultados teóricos y experimentales; en algunos casos hay correlación, pero en otros se tiene una diferencia que puede atribuirse directamente con la cantidad de átomos, las interacciones intermoleculares, así como la asociación de errores matemáticos (Figura 3). Esto se genera por la gran cantidad de electrones involucrados que desplazan las bandas por las interacciones electrónicas o la gran cantidad de momentos angulares en la molécula. Las interacciones por puentes de hidrógeno pueden afectar de igual manera, ya que se generan debido a las aminas primarias terminales y las amidas secundarias internas que interactúan entre sí, incrementando los desplazamientos.

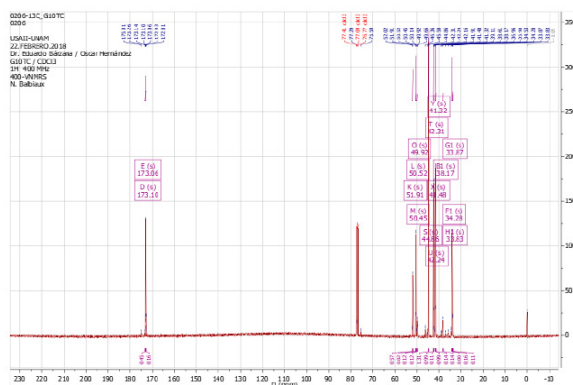
### $^1\text{H}$ NMR y $^{13}\text{C}$ RMN.

Los resultados de NMR que se muestran a continuación son para las moléculas dendríticas G1 (Figuras 4 y 5) y G4 (Figuras 6 y 7), con el propósito de observar el incremento de señales correspondientes a los CH2 alifáticos que se adicionan generación tras generación. De igual manera se conoce con esto la integración para los átomos de H y así determinar si la molécula se está sustituyendo por completo.



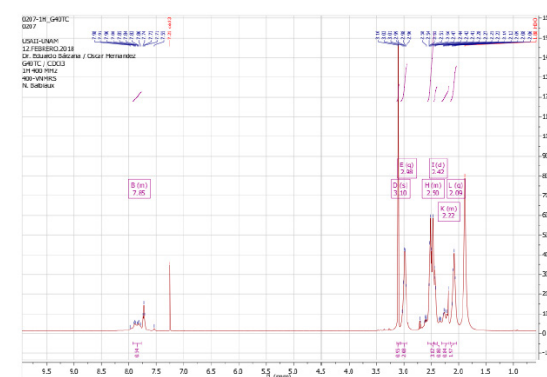
**Figura 4.** Espectro de  $^1\text{H}$  NMR para un dendrímero G1.

$^1\text{H}$  NMR ( $\text{CDCl}_3$ ) 2.25-3.25 (36H, serie de tripletes y cuartetos para todos los CH2 alifáticos), 2.67 (4H, s,  $\text{CH}_2$ , núcleo), 7.62 (4H, t, RCONHR').



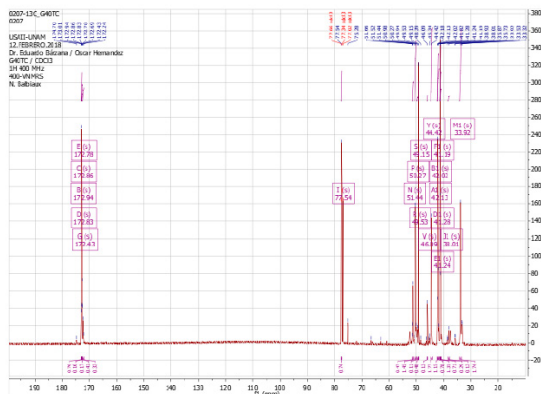
**Figura 5.** Espectro de  $^{13}\text{C}$  NMR para un dendrímero G1.

$^{13}\text{C}$  NMR ( $\text{CDCl}_3$ ) 51.91-33.83 (serie de singuletes para  $\text{CH}_2$  alifáticos), 44.86 (s,  $\text{CH}_2$ , núcleo), 173.10 (s, C=O).



**Figura 6.** Espectro de  $^1\text{H}$  NMR para un dendrímero G4.

$^1\text{H}$  NMR ( $\text{CDCl}_3$ ) 2.09-3.10 (480 H, serie de tripletes y cuartetos traslapados, todos para  $\text{CH}_2$  alifáticos), 3.10 (4H, s,  $\text{CH}_2$ , núcleo), 7.85 (15H, t, RCONHR').

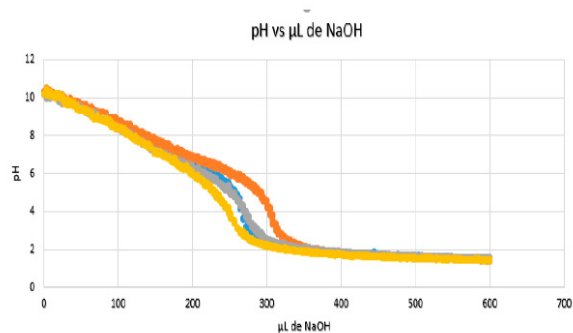


**Figura 7.** Espectro de  $^{13}\text{C}$  NMR para un dendrímero G4.  $^{13}\text{C}$  NMR ( $\text{CDCl}_3$ ) 51.44-33.92 (serie de singuletes para  $\text{CH}_2$  alifáticos), 41.28 (s,  $\text{CH}_2$ , núcleo), 172.94 (s,  $\text{C}=\text{O}$ ).

Para la serie de moléculas sintetizadas se toman como referencia las moléculas G1 y G4, con el objetivo de determinar el grado de ramificación conforme a la serie de reacciones. En los espectros de NMR de ambos materiales se tiene un incremento en el número de señales para la serie de metilenos alifáticos, para los carbonilos de amidas, así como un desplazamiento de los metilenos nucleares ante el aumento de átomos electronegativos en la sustitución. Las series de tripletes y cuartetos representativas para los protones de metilenos alifáticos se traslapan conforme aumenta la sustitución, así mismo en resonancia de  $^{13}\text{C}$  los singuletes aumentan y otros se ven traslapados debido a que los desplazamientos son similares para cada  $\text{C}=\text{O}$  y  $\text{CH}_2$  presente.

#### Determinaciones ácido-base.

Las determinaciones ácido-base para las diferentes generaciones de los dendrímeros se realizó con HCl (1M), partiendo de 21.3, 20.3, 22.4, 23.8 mg para las moléculas G1, G2, G3 y G4 respectivamente y se mezcló con 15 mL de agua destilada con agitación constante.



**Figura 8.** Perfiles de valoración ácido-base para la generación G1-G4 de los dendrímeros PAMAM.

Los perfiles mostrados en la Figura 8 muestran el comportamiento que estas moléculas tienen a diferentes valores de pH, mostrando similitudes en las 4 generaciones de dendrímeros PAMAM con grupos amino terminales. Los perfiles de valoración muestran una capacidad amortiguadora para los dendrímeros en un intervalo de 5-10 para la escala de pH; en el intervalo de pH 5-2 se lleva a cabo la protonación para todos los grupos amino y amida disponibles. De acuerdo a lo anterior se tiene que el dendrímero en un pH ácido se relaja y luego se contrae en pH básico [22]. Estas propiedades ácido base pueden emplearse para generar sistemas de liberación controlada, atrapar biomoléculas, metales o moléculas específicas y darles una funcionalidad específica cuando sean ancladas a una matriz sólida, como un residuo lignocelulósico.

#### CONCLUSIONES.

Los resultados presentados permiten contar con una caracterización formal de las moléculas dendríticas. Esta información esencial permitirá implantar los dendrímeros sobre la superficie de un residuo lignocelulósico para generar un compuesto con características diferentes a las del dendrímero aislado y del residuo lignocelulósico.

Se espera que las propiedades de este nuevo material se puedan emplear en sistemas duales con capacidad de control, transporte y estabilidad mejorados, sin tener reacciones secundarias en los sistemas que se empleen.

De la misma manera se podrán utilizar estos nuevos materiales para tener sistemas de detección nano-estructurados, bio-sensores o materiales para diferentes aplicaciones en diferentes disciplinas.

## AGRADECIMIENTOS.

A CONACYT por el apoyo recibido para realizar este proyecto, a DGAPA por el proyecto PAPIIT-IT-101615, así como a la DGTIC-UNAM-LANCAD-UNAM-DG-TIC-165.

## REFERENCIAS.

- [1] Svenson, S., Tomalia, D.A. (2012) *Adv. Drug Delivery Rev.*, 64 102–115.
- [2] Lee, I., Athey, B.D., Wetzal, A.W., Meixner, W., Baker Jr., J.R. (2002) *Macromolecules.*, 35 4510–4520.
- [3] Liu, Y., Bryantsev, V.S., Diallo, M.S., Goddard III, W.A. (2009) *J. Am. Chem. Soc.*, 131, 2798–2799.
- [4] Esfand, R., Tomalia, D.A. (2001) *Drug Discovery Today.*, 6, 427–436.
- [5] Zhang, B., Chen, Q., Tang, H., Xie, Q., Ma, M., Tan, L., Zhang, Y., Yao, S., (2010) *Colloids Surf. B.*, 80, 18–25.
- [6] Kim, Y., Kim, J., (2014) *Anal. Chem.*, 86 1654–1660.
- [7] Marcos, M., & Serrano J. L. (2009) *An. Química.*, 105 (2), 103-110
- [8] Liu, H., Song, J., Shang, S., Song, Z., Wang, D., (2012) *ACS Appl. Mater. Interfaces.*, 4 2413–2419.
- [9] Tomalia, D.A. Backer, H., Dewald, J., Hall, Kallos, G., Martín, S., Roeck, J., Smith, P., (1985) *Polim. J.*, 17, 117–132.
- [10] Tomalia, D.A., (1996) *Macromol. Symp.*, 101, 243–255.
- [11] Wooley, K. L., Hawker, C. J., Fréchet, J. M. J., (1991) *J. Am. Chem. Soc.*, 113, 4252–4261.
- [12] Kawaguchi, T., Walker, K. L., Wilkins, C. L., Moore, J. S., (1995) *J. Am. Chem. Soc.*, 117, 2159–2165.
- [13] Augustus, E.N., Allen, E.T.A., Nimibofa, A., Donbebe, W., (2017) *Am. J. of Polym. Sci.*, 7(1): 8-14.
- [14] Molina-Sabio, M., Rodríguez-Reinoso, F., (2004) *Colloids and Surfaces a Physicochemical and Engineering Aspects*, 241, 15-25.
- [15] Balat, M., (2011) *Energy Conversion and Management.*, 52, 858-875.
- [16] Cuervo, L., Folch, J.L., Quiroz, R.E., (2009) *Bio-Tecnología.*, 13(3) 11-25.
- [17] Bidalk J., Malone M., and Rusell B., (1992) *Oklahoma Academy of Science.* 72, 51-56.
- [18] Cuevas, G., Cortés, Y F., (2003) *Introducción a la química computacional.* Fondo de cultura económica. 1ª. Edición, p.172.
- [19] Amador-Bedolla, C., Olvera-Bermúdez, C.O., (2009) *Educación Química.* 20(2), 182-186.
- [20] Escobedo-González, R.G., Pérez-Martínez, H., Nicolás-Vázquez, J.M., Gómez, G., Nava-Serrano, J., Carranza-Téllez, V., Vargas-Requena, C. L., Miranda-Ruvalcaba. R., (2016) *J. of Chem.*, ID 3870529, 10 pages.
- [21] Bagheri, M., Rodríguez, H., Swatloski, R. P., Spear, S. K., Daly, D.T., Rogers, R. D., (2008) *Biomacromol.* 9, 381–387.
- [22] Verónica, A., Jiménez, A., Gavín, B., (2012) *Structural Chem.* 23:123–128.

## ANÁLISIS DE UNA MEZCLA BINARIA: DETERMINACIÓN SIMULTANEA DE CAFEÍNA Y ÁCIDO SALICÍLICO EN COMPRIMIDOS MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA UV.

Carlos Montaña Osorio<sup>1</sup>, Elia Granados Enríquez<sup>2</sup>, María Gabriela Vargas Martínez<sup>1\*</sup>

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán,

<sup>1</sup>Laboratorio de desarrollo de métodos analíticos

<sup>2</sup>Sección de química analítica.

mglaromero@gmail.com, ganemq@hotmail.com

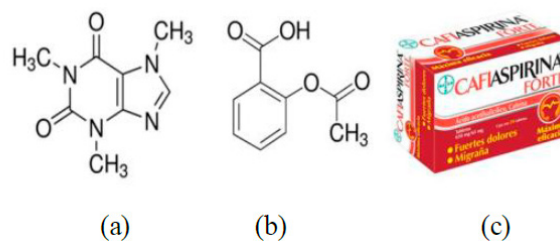
### RESUMEN

Con la finalidad de que los estudiantes de las carreras del área de la Química realicen de forma experimental el análisis de una mezcla de espectros de absorción traslapados y al mismo tiempo pongan en práctica los fundamentos de la espectrofotometría UV-Vis, en este trabajo se propone y verifica una metodología experimental para la cuantificación de los principios activos presentes en el medicamento comercial cafiaspirina forte® (Bayer). Dado que el ácido acetilsalicílico y la cafeína, y ambos son sustancias absorbentes en la región ultravioleta del espectro electromagnético, surge el objetivo del presente trabajo que es obtener un modelo matemático lineal que permita la cuantificación simultánea de dichos ingredientes activos. Este modelo se evaluó por mínimos cuadrados y se probó su validez mediante el análisis de sus residuales. Como conclusiones se logró desarrollar una metodología espectrofotométrica para el análisis de la mezcla absorbente en el UV.

**PALABRAS CLAVE:** Cafiaspirina, espectrofotometría UV, cafeína, ácido salicílico, absorción.

### ANTECEDENTES

Como ejemplo de mezcla binaria se utiliza la cafeína y ácido acetilsalicílico (HA<sub>SA</sub>) ya que son componentes conocidos para los estudiantes (ver Figura 1). Laska y colaboradores [3] informaron que en humanos la cafeína potencia el efecto de ciertos antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) como el ácido acetilsalicílico (también conocido como aspirina) y el paracetamol. Por lo anterior, la mezcla de cafeína y aspirina ha sido comercializada con el nombre de cafiaspirina desde 1920 y años después (en 1925) fue introducido el producto cafiaspirina forte [3], ambos productos con efecto analgésico, antipirético y anti inflamatorio, pero con diferentes proporciones de cafeína y aspirina en la mezcla.



**Figura 1.** Estructuras de a) cafeína, b) ácido acetilsalicílico (aspirina) y c) medicamento analizado.

Para realizar un análisis por espectrofotometría UV-Vis es necesario que el analito presente grupos cromóforos en su estructura, lo cual se cumple para la mezcla propuesta (ver estructuras Figura 1). Es necesario enfatizar en el alumno que también es posible realizar el análisis de mezclas de dos o más especies absorbentes usando espectrofotometría UV-Vis, ya que además de cumplir con la Ley de Beer (Ec. 1), debe cumplirse la Ley de aditividades (Ec. 2).



$$A = \varepsilon_{\lambda} l C \quad (\text{Ec. 1}) \quad A_{\text{mezcla}} = A_1 + A_2 + \dots + A_n \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde A es la absorbancia,  $\varepsilon$  es el coeficiente de absorptividad y C es la concentración de la especie absorbente. Dado que ambos ingredientes activos en las tabletas de cafiaspirina son especies absorbentes en la región del UV es posible cuantificar a ambos principios activos de manera simultánea en la mezcla, haciendo un análisis matemático para descomponer el espectro de la mezcla en los espectros de las especies individuales y realizar la cuantificación.

## OBJETIVO

Con la finalidad de que los estudiantes de las carreras del área de la Química realicen de forma experimental el análisis de una mezcla de espectros de absorción traslapados y al mismo tiempo pongan en práctica los fundamentos de la espectrofotometría UV-Vis, en este trabajo se propone y verifica una metodología experimental para la cuantificación de los principios activos presentes en el medicamento comercial cafiaspirina forte® (Bayer).

## PARTE EXPERIMENTAL

### Soluciones:

- 1) Solución ácida al 1%(v/v): se prepara una solución acuosa ácida al 10% (v/v), usando agua desionizada de 18 mΩ/cm (equipo MilliQ, Millipore) a partir de HCl (pureza 36.5-38.0 %, J.T Baker).
- 2) Solución Stock de HASa: Se preparó una solución stock de ácido acetilsalicílico, pesando una cantidad conocida de estándar R.A. (Sigma, pureza 99.5-100.5%) y disolviéndolo en 25 mL de metanol (J.T. Baker, grado HPLC) para finalmente aforar a 100 mL con la solución ácida descrita en el apartado 1).
- 3) Solución Stock de Cafeína: Se preparó una solución stock de cafeína, pesando una cantidad conocida de estándar R.A. (Sigma, pureza 99.0 %) y disolviéndolo en 25 mL de metanol (J.T.Baker, grado HPLC) para finalmente aforar a 100 mL con la solución ácida al 1% (v/v).

A partir de las soluciones 2) y 3) se prepararon los 6 sistemas como se indica en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Sistemas de la curva de calibración para el análisis de la mezcla por espectrofotometría.

Sistema	Curva de calibración (HASa)			Curva de calibración Cafeína		
	V <sub>stock</sub> HASa (mL)	V <sub>aforo</sub> (mL)	C <sub>stock</sub> HASa (mg/L)	V <sub>stock</sub> cafeína (mL)	V <sub>aforo</sub> (mL)	C <sub>Cafeína</sub> (mg/L)
1	0.5	25	1.66	0.5	25	1.83
2	1		3.32	1		3.65
3	2		6.64	2		7.31
4	3		9.96	3		10.96
5	4		13.28	4		14.62
6	5		16.60	5		18.27

Obtención de los espectros de absorción: Los espectros de absorción para cada uno de los sistemas de las curvas de calibración (Tabla 1) fueron medidos en un intervalo de 190 a 360 nm, con una velocidad de barrido de 240 nm/min, en celdas de cuarzo de 1 cm de paso óptico, usando como blanco la solución ácida pH 1.0. El quipo utilizado fue un espectrofotómetro Perkin Elmer de doble haz modelo lambda 18 con computadora y software lambda 18. Los archivos generados fueron exportados como archivos ASCII para realizar el análisis en Excel.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cafiaspirina forte indica en el marbete contener 650 mg de HASa y 65 mg de cafeína por tableta, esto es están en una relación 10:1 (HASa:cafeína), entonces inicialmente se midieron los espectros de absorción de las soluciones estándares individuales a la misma proporción 10:1 en concentración, en solución ácida pH 1.0. Estos espectros los podemos observar en la Figura 2, en donde la traza rosa corresponde al estándar de HASa que observamos presenta 3 máximos, uno a 203 nm, el segundo a 227 nm y el tercero a 276 nm. La traza azul corresponde al estándar de cafeína presentando una mucho menor absorbancia debido a que esta 10 veces más diluido que HASa y presentando 2 máximos uno a 205 nm y el otro a 272 nm. Como podemos observar el espectro de absorción resultante de la mezcla muestra un total traslapamiento de las bandas de absorción por lo que pretender analizarlo por espectrofotometría directa nos proporcionaría resultados erróneos.

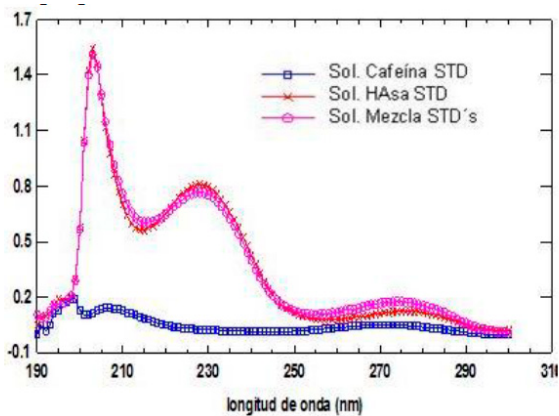


Figura 2. Espectros de Absorción de estándares de cafeína, HAsa y la mezcla de ambos estándares.

Como se muestra en la figura 2, la traza azul corresponde al espectro de absorción de cafeína 0.91 mg/L, la traza roja es del ácido acetilsalicílico 15.045 mg/L y la solución mezcla de estándares a la proporción del producto comercial analizado pertenece a la traza rosa, espectros obtenidos en solución ácida al 1%.

Sin embargo, al aplicar el siguiente tratamiento matemático es posible encontrar un modelo adecuado para lograr cuantificar cada componente de la mezcla. El modelo consiste en lo siguiente:

Como el sistema de cafiaspirina forte es binario, la absorbancia de la mezcla ( $A_m$ ) está definida de acuerdo a la ley de aditividad por la siguiente ecuación:

$$A_m = A_{HAsa} + A_{caf} \quad (Ec.3)$$

Aplicando la ley de Beer a la ecuación 3 se obtiene la expresión:

$$A_m = \epsilon_{HAsa}^\lambda l C_{HAsa} + \epsilon_{caf}^\lambda l C_{caf} \quad (Ec.4)$$

si conocemos la absorbancia de una solución stock para ácido acetilsalicílico y de cafeína, la absorbancia de cada especie es:

$$A_{HAsa}^S = \epsilon_{HAsa}^\lambda l C_{HAsa}^S \quad (Ec.5)$$

$$A_{caf}^S = \epsilon_{caf}^\lambda l C_{caf}^S \quad (Ec.6)$$

Siendo  $A_{HAsa}^S$  y  $A_{caf}^S$  las absorbancias de las soluciones stock de ácido acetilsalicílico y cafeína respectivamente,  $C_{HAsa}^S$  la concentración del stock de HAsa y  $C_{caf}^S$  la del stock de cafeína. Despejando  $\epsilon_{HAsa}^\lambda$  de la ecuación 5 y  $\epsilon_{caf}^\lambda$  de la 6 y sustituyendo en la ecuación 4 se obtiene:

$$A_m = C_{HAsa} \left( \frac{A_{HAsa}^S}{C_{HAsa}^S} \right) + C_{caf} \left( \frac{A_{caf}^S}{C_{caf}^S} \right) \quad (Ec.7)$$

Reordenando términos en la ecuación 7, resulta finalmente:

$$\frac{C_{caf}^S A_m}{A_{caf}^S} = C_{caf} + C_{HAsa} * \frac{C_{caf}^S A_{HAsa}^S}{C_{HAsa}^S A_{caf}^S} \quad (Ec.8)$$

Obteniendo así el modelo lineal para llevar a cabo la cuantificación de HAsa y cafeína en las tabletas de cafiaspirina forte, siendo el eje "X"  $\frac{C_{caf}^S A_{HAsa}^S}{C_{HAsa}^S A_{caf}^S}$  y el eje "Y"  $\frac{C_{caf}^S A_m}{A_{caf}^S}$ , así se obtienen los parámetros de regresión, la pendiente es la concentración de ácido acetilsalicílico y la ordenada al origen es la concentración de cafeína en la mezcla.

Usando las absorbancias de los espectros obtenidos de las soluciones de la Tabla 1, se ajustaron los datos a la ecuación 8 de una línea recta utilizando los valores de absorbancia correspondientes de 200 a 290 nm y se le aplicó la regresión por mínimos cuadrados, arrojando la concentración de cafeína y HAsa en el sistema problema, obteniéndose la Figura 3:

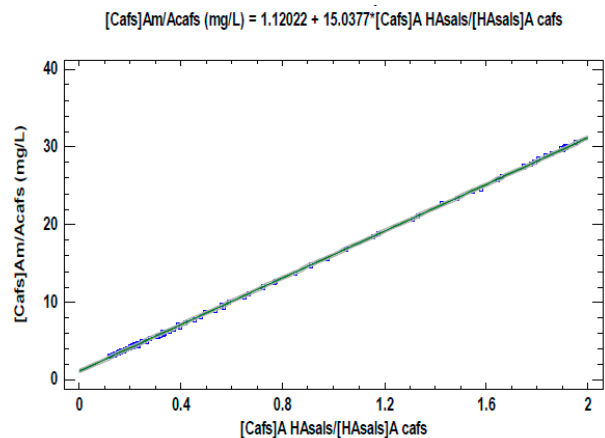
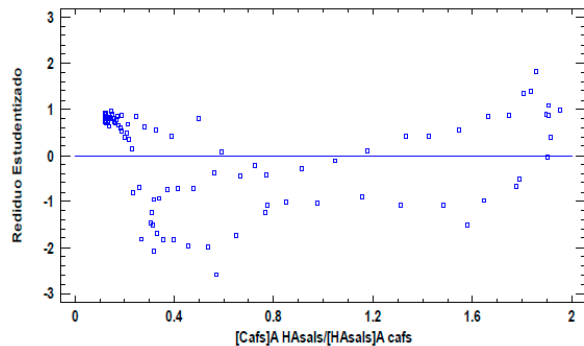


Figura 3. Ajuste de las absorbancias al modelo lineal de la ecuación 8.

En la figura 3 se ajustan las absorbancias de las soluciones stock de la tabla 1 y la absorbancia de la muestra al modelo lineal de la ecuación 8.

Tomando en cuenta la homocedasticidad de los residuales (Figura 4), se determina que los datos se ajustan al modelo de la ecuación de la línea recta.



**Figura 4.** Residuales para el modelo lineal de los datos ajustados al modelo de ecuación 8.

**Tabla 2.** Parámetros de regresión de la ecuación de la línea recta.

Parámetro de regresión	Valor(mg/L)
Pendiente [HAsa]	1.12
Ordenada al origen [Cafeína]	15.04

Por lo tanto es posible la cuantificación de los analitos, obteniendo los siguientes resultados en tabletas comerciales de cafiaspirina forte

**Tabla 3.** Comparación de la cantidad de principio activo

Principio activo	Reportado	Obtenido
HAsa (mg/tab)	650	632.46
Cafeína (mg/tab)	65	45.6

El bajo contenido obtenido de cafeína (Tabla 3) al aplicar el método propuesto, no se le atribuye al modelo de ecuaciones propuesto, sino a la inadecuada disolución del principio activo de cafeína a las condiciones de pH bajo, por lo que se sugiere optimizar las condiciones de disolución (i.e sonicar o agitar durante más tiempo) para lograr una completa extracción a fase acuosa y repetir la medición del producto comercial.

El formato desarrollado de esta práctica que es utilizado en la sesión experimental por los estudiantes, será presentado a los interesados durante la exposición del trabajo durante el congreso.

## CONCLUSIONES

Se realizó de manera satisfactoria el diseño y los experimentos correspondientes para obtener las curvas de calibración de ácido acetilsalicílico y cafeína, logrando un modelo lineal para la cuantificación simultánea de los principios activos en tabletas de cafiaspirina forte.

Esta propuesta de cuantificación es importante ya que ofrece una alternativa de cuantificación a técnicas de separación como cromatografía de líquidos y electroforesis capilar, que requieren de instrumentación más costosa que un espectrofotómetro UV-Vis, brindando una opción de cuantificación la cual no demanda la generación de soluciones buffer así como fases móviles caras y que generan muchos residuos a tratar.

## REFERENCIAS

- [1] Harvey, D. (2002). Química analítica moderna. México. Mc Graw Hill.
- [2] Harrys, D. C. (2013). Análisis químico cuantitativo. México. 3a ed. Reverté.
- [3] Laska EM, Sunshine A, Mueller F, Elvers WB, Siegel C, Rubin A. (1984). Caffeine as an analgesic adjuvant. JAMA 251:1711-1718.
- [4] Skoog, D. (2002). Principios de análisis instrumental. México. Mc Graw Hill.

## CUANTIFICACIÓN DE ÁCIDO BENZOICO Y ÁCIDO SALICÍLICO EN UNA FORMULACIÓN DÉRMICA MEDIANTE CROMATOGRAFÍA DE LÍQUIDOS DE ALTA RESOLUCIÓN.

Carlos Montaña Osorio<sup>1</sup>, Elia Granados Enríquez<sup>2</sup>, María Gabriela Vargas Martínez<sup>1\*</sup>

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán,

<sup>1</sup>Laboratorio de Desarrollo de Métodos Analíticos

<sup>2</sup>Sección de Química Analítica

[gvargasm@unam.mx](mailto:gvargasm@unam.mx), [granenriq@yahoo.com.mx](mailto:granenriq@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

Existen diversas formulaciones farmacéuticas de venta libre las cuales contienen ácido salicílico y ácido benzoico, los cuales tienen propiedades como astringentes tópicos y dermoabrasivos por lo cual son utilizados comúnmente como tratamientos para el acné. Una de las formulaciones más común es el aseptia en forma de ungüento dérmico. El objetivo del presente trabajo es desarrollar un método cromatográfico para la cuantificación de los ácidos salicílico y benzoico en el medicamento comercial aseptia, con la finalidad de formular el formato de una práctica para la enseñanza experimental de la cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC). Con la ayuda del software Statgraphics Centurion XVI se encontraron las ecuaciones de los modelos lineales para los ácidos salicílico y benzoico que en ambos casos fueron más adecuados utilizando las áreas de los picos correspondientes.

**PALABRAS CLAVE:** Acné, ácido salicílico, ácido benzoico, HPLC, determinación, cromatografía de líquidos.

### ANTECEDENTES

En la antigua Grecia se masticaba corteza de sauce blanco para aliviar el dolor de dientes de las personas así como malestares generales y fiebre. El extracto de la corteza de este árbol contiene ácido salicílico (HSal) al cual se le atribuyen dichas propiedades. Este ácido es añadido a las formulaciones farmacéuticas debido a que tiene propiedades como astringente tópico y dermoabrasivo, por lo que se ha utilizado en fármacos dérmicos como tratamiento para el acné, callosidades y remoción de verrugas. En niveles más bajos, también existe ácido benzoico (HBenz) en el sauce blanco, el cual también es utilizado en formulaciones tópicas, pero su uso más común es como conservador de alimentos, cosméticos, fármacos (etc.) mayoritariamente como su sal (sódica) benzoato, la actúa también como antiséptico.

Debido a que estos ácidos son añadidos a productos de consumo humano, es preciso tener un control de las cantidades de éstos. Para su cuantificación se utiliza la cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) en donde los analitos disueltos en una fase móvil recorren una columna empacada con una fase estacionaria e interaccionan de manera diferencial con ésta y la fase móvil, pudiendo así ser separados para su identificación y posterior cuantificación.

### OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es desarrollar el método cromatográfico para la cuantificación de los ácidos salicílico (HSal) y benzoico (HBenz) en el medicamento comercial aseptia, con la finalidad de formular el formato de una práctica para la enseñanza experimental del HPLC. La puesta a punto de esta práctica, incluye

que el alumno aplique sus conocimientos sobre pretratamiento de muestras, influencia de la polaridad de la fase móvil, composición de la columna, efecto del pH, de la supresión del ión, construcción de curvas de calibración, selección del modelo lineal y evaluación de su validez con la finalidad de fortalecer de una manera práctica los conocimientos adquiridos.

## PARTE EXPERIMENTAL

**Equipo:** Se utilizó un HPLC Shimadzu modelo LC-10AT, con desgasificador modelo DGU-14A, mezclador FCV-10AL, automuestreador SIL-10A, horno CTO-10A, detector UV, controlador CBM-20A y software LC Solution.

### Soluciones:

- 1) Fase móvil: Consta de una proporción 10:90 acetonitrilo y agua desionizada respectivamente. El acetonitrilo y el agua desionizada contienen ácido fórmico al 1 %.
- 2) Solución Stock de HSal: Se preparó una solución stock de ácido salicílico, pesando una cantidad conocida de estándar R.A. (Sigma-Aldrich, pureza 99.0 %) y disolviéndolo en fase móvil para finalmente aforar a 100 mL.
- 3) Solución Stock de HBenz: Se preparó una solución stock de ácido benzoico, pesando una cantidad conocida de estándar R.A. (Sigma-Aldrich, pureza 99.5 %) y disolviéndolo en fase móvil para finalmente aforar a 100 mL.

### Curvas de calibración:

Se realizó una curva de calibración la cual contenía ácido salicílico en un intervalo de 30 a 300 mg/L, ácido benzoico de 12 a 200 mg/L y ácido 3,4-dihidroxibenzoico como estándar interno a 22 mg/L todo preparado en fase móvil.

### Método cromatográfico:

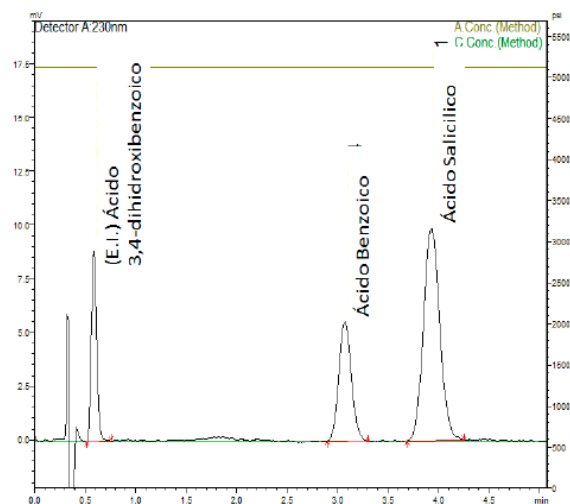
Las condiciones optimizadas del método se especifican en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Condiciones analíticas de separación.

Columna	ODS C <sub>18</sub> 4 μm, 3.9 x 50 mm
Fase Móvil	A: ácido fórmico al 1% en agua desionizada B: ácido fórmico al 1% en acetonitrilo
Gradiente de elución	Isocrático A:B (90:10)
Flujo	2.0 mL/min
Temperatura de la columna	25°C
Temperatura del automuestreador	25°C
Detector	UV a 230 nm
Volumen de inyección	4 μL

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en la figura 1 con la composición optimizada de la fase móvil se pudo lograr la completa separación del ácido salicílico, ácido benzoico y el estándar interno (ácido 3,4-dihidroxibenzoico).



**Figura 1.** Cromatograma de la separación de ácido salicílico, ácido benzoico y el estándar interno.

Las señales se observan simétricas y con resoluciones ( $R_s$ ) que van desde 1.68 hasta 7.37 (ver Tabla 2) con lo que se concluye que están completamente resueltos en línea base. El tiempo de análisis sería alrededor de los 4.5 min.

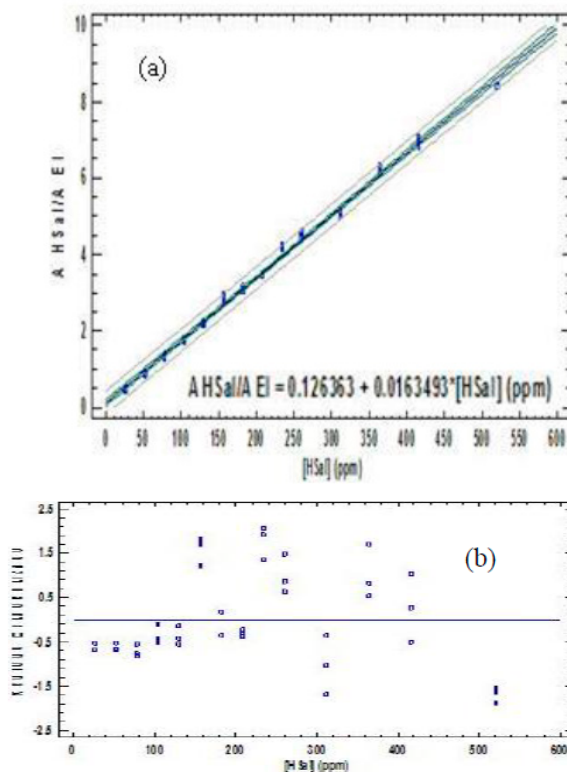
**Tabla 2.** Parámetros cromatográficos de los analitos separados por HPLC.

Analito	Tiempo de retención (min)	Ancho de pico (min)	Resolución ( $R_s$ )
Estándar interno (E.I)	0.587	0.3	EI/ HBenz
Ácido Benzoico (HBenz)	3.167	0.4	HBenz/ HSal
Ácido Salicílico (HSal)	4.094	0.7	

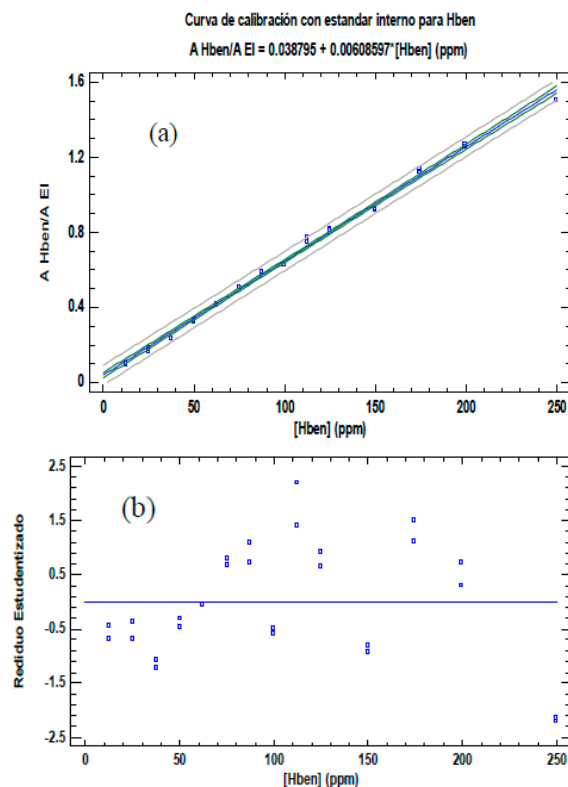
Se midieron 14 niveles de concentración de las mezclas de ácido benzoico, ácido salicílico (por triplicado), con la adición del estándar interno seleccionado que fue el ácido 3,4-dihydroxibenzoico a una concentración constante de 22 mg/L

A los cromatogramas obtenidos se les determinaron los tiempos de retención ( $t_r$ ), las áreas bajo la curva (A) y la altura del pico (H) para las 3 señales obtenidas. Estos datos se alimentaron al software Statgraphics Centurion XVI con la finalidad de realizar el análisis correspondiente aplicando mínimos cuadrados y poder encontrar los modelos para la cuantificación de ácido salicílico y ácido benzoico en las muestras problema.

Las curvas de calibración obtenidas se muestran en las Figuras 3 y 4 junto con sus correspondientes gráficos de residuales que se analizan para poder asegurar la validez del modelo lineal encontrado. Para ambos casos, la respuesta que fue utilizada para encontrar los modelos fue la relación de áreas (Área del ácido)/(Área del E.I), ya que mostró un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) mayor y un comportamiento homocedástico para ambos casos.



**Figura 2.** a) Curva de calibración de ácido salicílico y su ecuación lineal obtenida, b) sus residuales.



Como se observa en las figuras 2 y 3 los residuales para las curvas de calibración con estándar interno de ácido salicílico y ácido benzoico son homocedásticos, es decir están ordenados al azar (sin ninguna tendencia) y no existen datos anómalos (es decir que rebasen los valores de +3,-3) por lo que los modelos propuestos son válidos. Con tales modelos es posible realizar la cuantificación de las muestras problema de asepsia, realizando la interpolación correspondiente en las curvas de calibración. Un ejemplo de los cromatogramas obtenidos para la muestra de asepsia se puede ver en la Figura 4.

Utilizando la relación de áreas de los analitos con el estándar interno se cuantifica obteniendo los resultados de la Tabla 3.

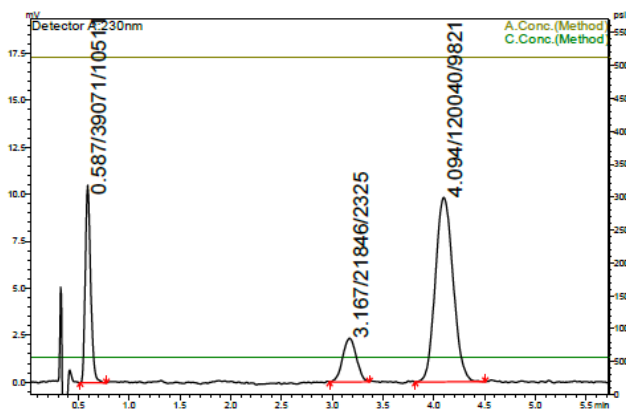


Figura 4. Cromatograma de la separación de los componentes de una muestra de asepsia.

Tabla 3. Composición de la formulación asepsia obtenida por HPLC.

Ingrediente activo	g producto/g analito encontrada	Reportada (g/g)	% de Contenido
HSal	0.0182 (1.82%)	0.02 (2 %)	91 %
HBenz	0.0098 (0.98%)	No reportado	

Dentro de las cremas para el acné está reportado que la presencia de ácido salicílico se utiliza cuando se quiere un efecto queratolítico (ayuda al cuerpo a liberar las células muertas y ásperas de la piel) y se reporta en el asepsia un contenido del 2 %. El ácido benzoico ayuda a curar la infección causada por las bacterias y hongos y aunque no presenta su contenido en la formulación de asepsia, se reportan productos para el

acné que lo contienen entre 0.5 hasta 6 %. De lo anterior se observa que el contenido de ácido salicílico cumple en la especificación para formas farmacéuticas tópicos (90-110 %), mientras que para el ácido benzoico aunque no se encuentra reportado en el producto comercial su especificación, al parecer este tiene un contenido aproximado del 1 % (de forma exacta el 0.98 %) el cual está en concentraciones adecuadas para ejercer su efecto bacteriostático y fungistático.

## CONCLUSIONES

Se realizó de manera satisfactoria el método cromatográfico ya que los picos del estándar interno, ácido salicílico y ácido benzoico están resueltos, no traslapados, pudiendo así lograr su cuantificación en el asepsia, Las curvas de calibración demostraron su linealidad mediante el análisis de residuales, así cuantificándolos obteniendo 1.82% de ácido salicílico y 0.98% de ácido benzoico.

Con el método cromatográfico propuesto se logró cuantificar estos ingredientes activos. Debido a que estos ácidos son añadidos a productos dermatológicos es necesario tener un método de cuantificación que permita monitorear su concentración, ya que en niveles altos de concentración pueden causar quemaduras por el contacto con la piel.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto PAPIME PE216418 titulado "Fortalecimiento de la enseñanza de las asignaturas de técnicas analíticas avanzadas y laboratorio del Paquete terminal de la licenciatura en química" por el financiamiento para la realización de éste trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Harvey, D. (2002). Química analítica moderna. México. Mc Graw Hill.
- [2] Harrys, D. C. (2013). Análisis químico cuantitativo. México. 3a ed. Reverté.
- [3] Skoog, D. (2002). Principios de análisis instrumental. México. Mc Graw Hill.

## CREENCIAS O ERRORES AL ENSEÑAR MATEMÁTICAS

Juan Alfonso Oaxaca Luna<sup>1</sup>, María del Carmen Valderrama Bravo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Matemáticas, FES Cuautitlán UNAM

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería y Tecnología, FES Cuautitlán UNAM

[joaxaca@unam.mx](mailto:joaxaca@unam.mx), [carmenvalde@yahoo.com.mx](mailto:carmenvalde@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

En la enseñanza de las matemáticas a cualquier nivel educativo, existen situaciones en las que se considera como incorrectos algunos procedimientos, pero matemáticamente son correctos. Tradicionalmente se califica si se ha aplicado un método adecuadamente pero no si se ha comprendido o analizado. Los maestros tradicionalmente deseamos observar en el trabajo de nuestros alumnos que hemos transmitido información y que la ha recibido adecuadamente, que tanto aprendió a dar las respuestas que esperamos. Si esto sucede decimos ¡Que buenos alumnos tengo! Pero en nuestro desempeño en la enseñanza de las matemáticas hemos visto que los errores permiten un progreso para el desarrollo del pensamiento matemático. También los errores son de utilidad para aprender más matemáticas dado que al considerarlo como un problema matemático se agudiza la percepción matemática. Sin embargo, para el matemático puro esto resulta vergonzoso, pero no para aquellos que nos dedicamos a la educación matemática.

**PALABRAS CLAVE:** Creencia, error, pensamiento matemático, enseñanza, matemáticas.

### ANTECEDENTES

Los errores son fuente de conocimiento que podemos explotar para profundizar en el pensamiento matemático, esto no nos debe asombrar porque ha sido el motor del devenir matemático.

Generalmente los errores son aspectos que se tratan de evitar en los trabajos científicos, ya que los errores frecuentemente son tema de desprestigio. Sin embargo, estos errores son cometidos por profesores o alumnos y no los toman como tales hasta que un experto se los aclara o explica el porqué del error. Es peculiar que en el nivel bachillerato o licenciatura el profesor que enseña matemáticas sea ingeniero o licenciado y el esté impregnado de muchas creencias ya que en su formación así lo comprendió o se lo enseñaron, el profesor se da cuenta de estos errores cuando profundiza en el tema o decide tomar cursos de especialización en matemáticas o bien una maestría.

El considerar el error ha permitido explicar el desarrollo de ciertos conceptos y el nacimiento de nuevas teorías, las cuales a su vez no se hubieran desarrollado si no existieran dichas equivocaciones o malas consideraciones. El uso del término error históricamente se ha permitido como conceptos con limitaciones, ya que decimos que un procedimiento es correcto o no a partir de los elementos que conforman las teorías actuales.

Algunos matemáticos han encontrado errores en algunos problemas, los cuales son dignos de estudio, ya sea por que plantean acertijos o pasatiempos o bien nos conducen a la formulación de teoremas interesantes.

La integración de este trabajo se llevó a cabo considerando dos aspectos: los problemas de enseñanza y el trabajo matemático. Los ejemplos incluidos son parte de errores que hemos cometido en la enseñanza de las matemáticas o bien forma parte del folklore matemático.



**DESARROLLO**

Un error muy conocido y discutido en diversos artículos y libros de acertijos o curiosidades matemáticas, es la cancelación de exponentes o desaparición de exponentes.

Sea la expresión

$$\frac{a^2 + b^2}{c^2} = \frac{a + b}{c}$$

Lo cual desde el punto de vista es un procedimiento erróneo, pero existen casos particulares en el que si se cumple, por ejemplo:

$$a = 2, b = 3 \text{ y } c = \frac{13}{5}$$

Sustituyendo de acuerdo a la expresión algebraica

$$\frac{2^2 + 3^2}{\left(\frac{13}{5}\right)^2} = \frac{2+3}{\frac{13}{5}} \quad \text{ya que} \quad \frac{4+9}{\frac{169}{25}} = \frac{(13)(25)}{169}$$

$$\frac{(5)(5)}{13} = \frac{25}{13}$$

Como la igualdad se cumple la regla no se puede evidenciar, pero recordar que es un caso particular y no general

**Ejemplo 2**

En el manejo de las fracciones también se cometen errores, porque algunos estudiantes confunden los números mixtos con la multiplicación de un entero y una fracción, de tal manera se cometen errores como el siguiente:

$$\sqrt{a \frac{b}{c}} = \sqrt{a} \sqrt{\frac{b}{c}}$$

Esto se confunde con:

$$\sqrt{a \frac{b}{c}} = \sqrt{(a)\left(\frac{b}{c}\right)}$$

Si desarrollamos en realidad se confunde

$$\sqrt{a + \frac{b}{c}} = \sqrt{a} \sqrt{\frac{b}{c}}$$

ya que el desarrollo de número mixto es:

$$a \frac{b}{c} = \frac{(a)(c) + b}{c}$$

O lo que es igual a las operaciones con fracciones

$$\frac{(a)(c) + b}{c} = \frac{(a)(c)}{c} + \frac{b}{c}$$

Que es igual a:

$$a + \frac{b}{c}$$

En los siguientes ejemplos se presentan verdaderas ofensas al pensamiento matemático, ya que una serie de piezas en las que métodos sacrílegos producen soluciones correctas.

**Ejemplo 3**

Sea el sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} 4a - b &= 2 \\ a + b &= 3 \end{aligned}$$

Si nosotros podemos encontrar el resultado a partir de una ecuación ¿para qué incluir la otra?

De la ecuación  $4a - b = 2$

Podemos expresarla como

$$a - \frac{b}{4} = \frac{2}{4}$$

O bien  $\frac{a}{1} - \frac{b}{4} = \frac{1}{1}x \frac{2}{4}$

Por lo que por comparación

$$\frac{a}{1} = \frac{1}{1} \quad y \quad \frac{b}{4} = \frac{2}{4}$$

Entonces  $a = 1$  y  $b = 2$

No resulta complicado comprobar en cualquiera de las ecuaciones originales que el resultado es correcto.

En los errores o creencias matemáticas también pueden existir liviandades como el siguiente ejemplo.

Ejemplo 4

Sea la siguiente identidad trigonométrica:

$$\text{sen}(x) + \text{sen}(2x) + \text{sen}(3x) + \dots + \text{sen}(nx) = \frac{\text{sen} \frac{(n+1)x}{2} \text{sen} \frac{nx}{2}}{\text{sen} \frac{x}{2}}$$

Como  $\text{sen}$  esta en exceso podemos eliminarlo, entonces obtenemos.

$$x + 2x + 3x + \dots + nx = \frac{\frac{(n+1)x}{2} x \frac{nx}{2}}{\frac{x}{2}}$$

Como hay varias "x" dividir cada término entre "x", quedando:

$$1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{\frac{(n+1)}{2} x \frac{n}{2}}{\frac{1}{2}}$$

Simplificando tenemos

$$1 + 2 + 3 + \dots + n = \frac{(n+1)(n)}{2}$$

de los números naturales conocida, como sucesión.

Ejemplo 5

Puede ocurrir que un error cancele el efecto de otro, por ejemplo al calcular la derivada de la función.

$$y = (x^2 + 1)^{3x}$$

Algunos utilizan la fórmula

$$\frac{d}{dx}(u^n) = nu^{n-1} \frac{d}{dx}(u)$$

Sin embargo otros pueden utilizar

$$\frac{d}{dx}(a^u) = a^u (\ln u) \frac{d}{dx}(u)$$

Los primeros obtienen

$$y_1 = 3x(x^2 + 1)^{3x-1} (2x)$$

Mientras que los segundos

$$y_2 = (x^2 + 1)^{3x} (\ln(x^2 + 1))(3)$$

Puede probarse que la forma de encontrar la derivada es:

$$y = U^V$$

$$y' = VU^{V-1} U' + U^V \ln(U) V'$$

Sustituyendo

$$y' = (x^2 + 1)^{3x} \left( \frac{6x^2}{x^2 + 1} + 3 \ln(x^2 + 1) \right)$$

Puede observar que

$$y' \neq y_1 \quad y \quad y' \neq y_2$$

Sin embargo

$$y_1 + y_2 = 6x^2(x^2 + 1)^{3x-1} + 3(x^2 + 1)^{3x} (\ln(x^2 + 1))$$

$$= \frac{6x^2(x^2 + 1)^{3x}}{x^2 + 1} + 3(x^2 + 1)^{3x} \ln(x^2 + 1)$$

$$(x^2 + 1)^{3x} \left[ \frac{6x^2}{x^2 + 1} + 3 \ln(x^2 + 1) \right]$$

$$= y'$$

De lo anterior podemos observar que dos errores se conjugan para dar una respuesta correcta.

## CONCLUSIONES

- Se ha visto que al desarrollar los ejercicios anteriores cómo los errores pueden ser provocados por los estudiantes o por el profesor.
- Para detectar lo que no saben los estudiantes es necesario plantear estrategias de corrección basadas en el conocimiento de lo que saben, pero sobre todo en por qué no lo saben
- Los errores no sólo nos muestran algo que no manejan o conoce el estudiante, también nos proporciona el punto de partida para establecer posibles causas de dichos errores.
- Las respuestas correctas pueden acompañarse de concepciones erróneas o de procedimientos o razonamientos mal estructurados. Es decir el error no sólo aparece en el producto final sino que puede estar en el procedimiento.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto PAPIME PE108316 por el apoyo para el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Kent, D. (2002). Algunos procesos a través de los cuales se pierden las matemáticas. *Educational Research*. 21(1), 19.
- [2] Mancera, E. (2000). *Errar es un placer*. México: Grupo editorial Iberoamericano S.A de C.V.
- [3] Rubinsten, S. (2004). *El pensamiento y los caminos de su investigación*. México: Grijalbo

## ¿QUÉ SON LAS TIC PARA EL NATIVO DIGITAL?

Guerrero Morales Josué<sup>1</sup> & Hernández Beltrán Arcadia\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

[guerrerojosueyasar@gmail.com](mailto:guerrerojosueyasar@gmail.com) & [fescahb12@tahoo.com.mx](mailto:fescahb12@tahoo.com.mx)

### RESUMEN

Los universitarios de hoy constituyen las primeras generaciones de Nativos/as digitales, por lo cual resulta importante abordar la conceptualización real de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para esta, a través de una encuesta digital se analizó el sentir de los/as estudiantes en cuanto a la implementación de las TIC dentro la materia de Bioquímica General, encontrando que al 7% de la población no cuenta con estos recursos, 10% emplea la Red inalámbrica universitaria y el 26.73% presenta aversión al implemento de las TIC dentro del aula, ya que consideran las instalaciones dentro de la facultad deficientes o les proporcionan un cierto grado de estrés o molestia, evidenciando que la metáfora de los nativos e inmigrantes digitales parece olvidar las prácticas y los escenarios reales, por lo que se debe lograr gestar un concepto definido de TIC de carácter homólogo entre las partes involucradas en el proceso enseñanza/aprendizaje.

**PALABRAS CLAVE:** Nativos digitales, Tecnologías de la información y comunicación, Acceso digital, Inclusión de las TIC en la docencia.

### ANTECEDENTES

Los universitarios de hoy constituyen las primeras generaciones de Nativos/as digitales, término acuñado por Marc Prensky, el cual hace referencia a todas aquellas personas que han nacido desde el año 1980, (década donde se dio el salto al desarrollo exponencial de la tecnología digital, así como a su accesibilidad). Surgiendo individuos formados en los nuevos avances tecnológicos, a los que se han acostumbrado por inmersión al encontrarse, desde siempre, rodeados de ordenadores, vídeos y videojuegos, música digital, telefonía móvil, dispositivos inalámbricos y otros entretenimientos y herramientas afines [1].

Por otro lado, esto nos habla de la innovación educativa inherente a nuevos recursos pedagógicos propios de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), así como las demandas de nuevos modelos pedagógicos y esquemas de enseñanza, en donde los docentes puedan, al incorporar las

TIC, desarrollar en el alumno/a competencias, es decir conocimientos, destrezas, habilidades como el estudio independiente el trabajo colaborativo y el desarrollo del pensamiento crítico entre otros [2].

También debemos mencionar como resultandos evidentes, nuevos retos en la enseñanza de estudiantes que piensan y procesan la información de modo significativamente distinto a sus predecesores, así como el trabajar con universitarios cuyas destrezas en el manejo y utilización de la tecnología son superiores a la de sus profesores y educadores [3]

No obstante, no podemos generalizar el uso de estas herramientas, así como su correcto manejo por parte de los/as alumnos/as, como ejemplo de instrumentos que pretenden diagnosticar el uso y conceptualización de las TIC en los estudiantes existe el TICómetro, instrumento de evaluación de habilidades digitales, diseñado por la Coordinación de Tecnologías para la Educación "h@bitat puma" de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Co-

municación (DGTIC) que tiene como objetivos, ofrecer datos empíricos que permitan caracterizar el perfil del estudiante de primer ingreso en relación con sus habilidades en el manejo de TIC, así como brindar información para la toma de decisiones con relación a la enseñanza y el uso de TIC dentro de contenidos programáticos, actividades, entre otros [4].

## OBJETIVO(S)

Por lo cual el presente trabajo pretende conocer cuál es la conceptualización real de las TIC para los/as nativos/as digitales, ya que indiscutiblemente son una herramienta que contribuye en el desarrollo de innovaciones educativas, permitiendo a los/as docentes retomar los recursos informáticos para renovar diversas prácticas que podrán favorecer la conceptualización e integración del conocimiento científico en el alumno/a.

## METODOLOGÍA

Para los propósitos de este trabajo, todos los datos recabados fueron compilados a partir de registros digitales dentro de un aula virtual en el sistema operativo Moodle®, durante el periodo de febrero del 2017 a mayo del 2018, con un carácter descriptivo, observacional, transversal y prolectivo, en el cual se encuestaron a 282 estudiantes de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1, pertenecientes a la carrera de Bioquímica Diagnóstica y la Licenciatura en Farmacia, sobre su posibilidad de acceso a los recursos digitales, su implementación dentro la materia de Bioquímica General y el uso de las TIC por parte de los profesores de esta misma asignatura.

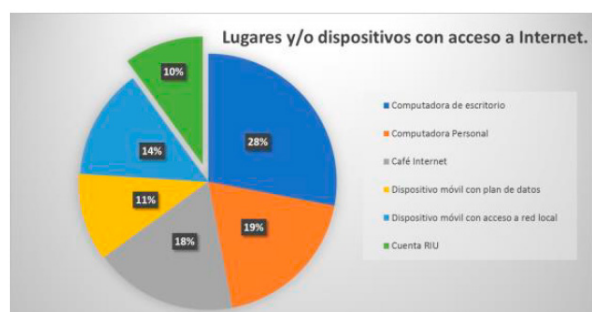
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prensky señaló que en las aulas se tienen nuevas generaciones de estudiantes, todos digitales, quienes quieren usando las herramientas de su tiempo; crear y tomar control sobre su propio proceso de aprendizaje, con este preámbulo, se vislumbra una nueva forma de ver a los alumnos del siglo XXI, proponiéndose la co-asociación (sustentada en el constructivismo), como medio para enseñar a las generaciones digitales. Esta sugiere trabajar con cualquier tecnología, disponible o no en la escuela y el aula, planteando dónde y cuándo los profesores deberían usarla, y también dónde no [1].



**Figura 1.** Porcentaje de la población que cuenta con acceso a recursos digitales

Ideología tomada por muchos como ley de manera nacional o institucional, obligando al docente a implementar estas herramientas dentro de sus clases, además de exigir su capacitación en esta nueva área del conocimiento al inmigrante digital, propiciándole en el mejor de los casos una infraestructura escasa o material deficiente para que pueda implementar el uso de las TIC, pero si bien es importante el conocimiento y manejo de estas nuevas herramientas por parte del docente, también lo es para el caso de los/as alumnos, que si bien por la clasificación de Prensky son señalados/as como los expertos en el tema y se supone son quienes cuentan con acceso en todo momento a estos recursos, los resultados obtenidos del instrumento aplicado refieren todo lo contrario, ya que al 7% de los/as alumnos encuestados se les imposibilita contar con acceso a estos recursos (Figura 1), a pesar de contar en la UNAM con centros de cómputo, sistemas inalámbricos como la Red inalámbrica Universitaria (RIU), centros especializados, y sitios web como la UNAM en línea o el sistema de registro TIC, por mencionar algunos, solo el 10% cuenta con un registro en alguno de estos servicios que se proporcionan de manera gratuita (Grafica No. 2), lo que muestra total desconocimiento de estos servicios.



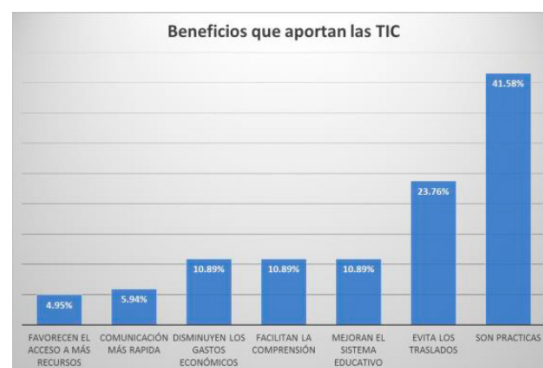
**Figura 2.** Porcentaje de lugar y/o dispositivos con acceso a internet disponibles.



**Figura 3.** Practicidad de las TIC para el/la Nativo/a digital

Por otro lado, el 77% de los/as Nativos/as Digitales concuerda en que las TIC les brindan practicidad (idea extendida en el 41.58% de la población), definida dentro de este trabajo a la capacidad de brindar comodidad, disponibilidad y facilidad de acceso a diversos recursos, como el ser además de eso más eficientes (Figura 3.), también aunada a éste, se señalaron otros beneficios como lo es el evitar traslados a la facultad, al poder realizar las actividades desde la comodidad de su hogar, lo cual es un parámetro que considerando la gran distribución geográfica a la cual atiende la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1, por ser la única dependencia de toda la UNAM donde se imparte la Carrera de Licenciado en Bioquímica Diagnóstica, le permite brindar una educación más incluyente, siendo por ello un beneficio sumamente tangible para el estudiante, que le proporciona usar las TIC dentro de sus clases, lo cual a su vez se refleja en la disminución de gastos económicos (10.98%) y hasta cierto punto la seguridad del estudiante, al cumplir actividades extra horario, sin acudir a las instalaciones de la facultad (Figura 4). La mejor comprensión de temas (10.98%), la mejora al sistema educativo (10.89%) y el acceso a más y mejores recursos (4.95%) fueron beneficios poco considerados por los/las encuestados/as (Figura 4), aspectos que se pregonan a los cuatro vientos como las principales ventajas dentro de los procesos educativos que se asume actúan sobre el rendimiento tanto personal como organizacional, pero que desde la perspectiva de los/las Nativos/as Digitales no presentan gran importancia, lo que nos permite analizar si realmente, su uso les permite desarrollar ciertas competencias o habilidades como la búsqueda de información actualizada, formación de criterio propio, capacidad de síntesis, eficiencia en el empleo de instrumentos y recursos tecnológicos entre otras,

o simplemente las ocupan para actividades de ocio y entretenimiento que les proporcionan cierto grado de satisfacción y comodidad.



**Figura 4.** Beneficios que aportan las TIC.

En un intento por comprender e identificar lo que los/as Nativos/as Digitales entiende por el término Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y si son empleadas por su profesor/a, se cuestionó dentro de este instrumento sobre la implementación de éstas, especificando a aquellos/as profesores/as que imparten la materia de Bioquímica General, observando que la mayoría 55% de los estudiantes refirió que sus profesores/as no emplean las TIC dentro de sus clases (Figura 5), intriga la heterogeneidad de los resultados, ya que dentro del mismo grupo hay alumnos/as que refieren el uso de estas herramientas mientras que otros/as lo niegan. Especificando las TIC que se emplean en clase resalta un rotundo 42.57% que refiere ninguna, a lado de 18.81% que menciona el uso de presentaciones específicamente en formato ppt., 14.85% indica la implementación de proyector y computadora, un escaso 7.92% refiere "otras", apartado en el cual se englobaron esquemas, imágenes, aulas virtuales Moodle®, material audiovisual, correo electrónico, artículos y libros digitales y solo 8.91% indicó el uso de Facebook® (figura 6). A pesar de que la recolección de datos y elaboración del instrumento fue efectuada dentro de un aula virtual de Moodle® y que dentro de la sección de bioquímica, todos/as los profesores cuentan con grupos de Facebook® e inclusive durante el semestre 2017-II se desarrolló una página web dentro del sistema operativo social Facebook® que lleva por nombre "BioTICchemistry" en la cual se dan avisos y publicaciones de interés sobre lo relacionado a la asignatura, adjuntando y difundiendo por

parte de cada profesor/a artículos, revistas y libros en formato digital, existen un rotundo 42.57% que indica el nulo empleo de las TIC dentro de la asignatura, lo cual nos pone a reflexionar si realmente nuestros estudiantes son Nativo/a Digital (los/as supuestamente expertos/as en el uso de la tecnología), debido a que desconocen realmente que son las Tecnologías de la información y comunicación, que en este trabajo por definición propia se han considerado como cualquier tecnología que permita el almacenamiento, recuperación, proceso, distribución y comunicación de la información.



Figura 5. Implementación de las TIC por parte de los docentes.

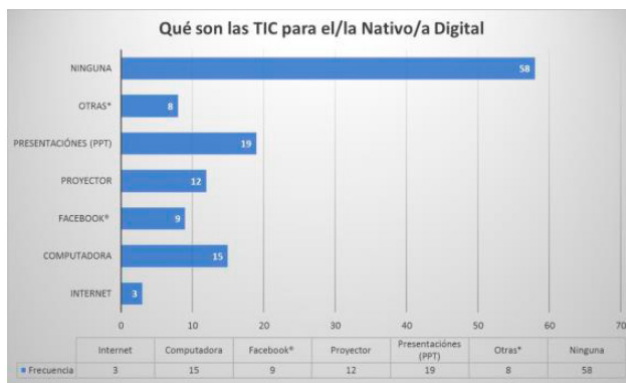


Figura 6. Que son las Tic para el/la Nativo/a digital



Figura 7. Porcentaje de aceptación de la inclusión de las TIC por el/la Nativo/a Digital.

Si bien, desde un punto de vista institucional, se han aceptado las TIC e impuesto al profesorado como una herramienta de uso obligado, con los supuestos de que la aceptación por parte del estudiante a estas herramientas es homóloga, dentro de los resultados obtenidos, se evidenció que 26.73% (figura 7), extraordinariamente una cuarta parte de la población encuestada presenta aversión ya que consideran las instalaciones dentro de la facultad deficientes o simplemente la posibilidad de una falla por alguna cuestión técnica les proporcionan un cierto grado de estrés o molestia, por lo cual prefieren no involucrar este tipo de herramientas dentro del salón de clase.

## CONCLUSIONES

Los resultados plasmados en este estudio permiten describir la escasa información con la que cuentan nuestros/as estudiantes sobre las Tecnologías de la Información y Comunicación, observando que la metáfora de los nativos e inmigrantes digitales parece olvidar, las prácticas y los escenarios reales, en donde no todos los/las estudiantes encajan con las etiquetas elaboradas. Por lo que se debe lograr gestar un concepto definido sobre las TIC, de carácter homólogo entre las

partes involucradas en el proceso de enseñanza/aprendizaje, el uso de estas herramientas y la clasificación de las mismas, para tener un punto de partida común, entre las dos complejas articulaciones involucradas, sin caer en la falsa ilusión totalizadora de que los docentes pertenecen al mundo de los/as inmigrantes y los/as alumnos/as al de los/las nativos/as digitales; ya que del uso adecuado de estas herramientas dependerá de la correcta apertura de un canal de comunicación entre ambas partes.

## REFERENCIAS

- [1] Prensky, M. (2001) "Nativos e inmigrantes digitales Recuperado de: <http://bit.ly/1m3z1M1>
- [2] Richtel, M. (2012), "Technology changing how students learn, teachers say" Recuperado de: <http://bit.ly/2oBihnK>
- [3] Sánchez J. (2010), Integración curricular de las TIC: Conceptos e ideas. Recuperado de: <http://bit.ly/2pqf9je>
- [4] Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación. (2015), Resultados de la cuarta aplicación del cuestionario diagnóstico sobre habilidades digitales a estudiantes de primer ingreso al Bachillerato de la UNAM. Generación 2016. Recuperado de: <http://educatic.unam.mx>



## CONSIDERACIONES HISTÓRICAS, SOCIALES Y ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA SALUD HUMANA Y EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DEL PERSONAL DEL AREA DE LA SALUD.

Carlos Alberto Colín Sánchez<sup>1</sup>, Berenice Yahuaca Juárez<sup>1</sup>, Heriberto AguilarVilla<sup>1</sup>, Rafael Ortiz Alvarado\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Cuerpo Académico de Fisiopatologías-211, UMSNH

[rortizalvarado@gmail.com](mailto:rortizalvarado@gmail.com)

### RESUMEN

El Índice de Desarrollo Humano (IDH), cubre tópicos como el poder adquisitivo, dirigido a la preservación de la nutrición humana con calidad y con un impacto en la salud humana, la cual ha mejorado en los últimos 70 años como resultado de la implementación de tecnologías basadas en descubrimientos del siglo XIX y principios del siglo XX, favoreciendo la esperanza de vida de los individuos a nivel mundial, donde México ha sido participe de este desarrollo humano, sin embargo, el modelo económico, ha favorecido que la población tenga acceso a alimentos industrializados permitiendo el desarrollo y prevalencia de enfermedades metabólicas con predisposición genética en la población, por lo que el personal del área de salud, debe poseer la sensibilidad, para entender los problemas de salud pública, teniendo en consideración un enfoque transdisciplinario, en áreas como la ciencias sociales y económicas como un apoyo para poder aumentar el IDH en la población del actual siglo XXI.

**PALABRAS CLAVE:** Índice de Desarrollo Humano, Salud Pública, Índice de Gini, OCDE.

### ANTECEDENTES

En estas dos primeras décadas del actual siglo XXI, la población humana ha superado los 7,000 millones de individuos a nivel mundial [5]. Este número de seres humanos plantea diferentes desafíos para el actual modelo económico y social, aplicado de manera global. Sin embargo, demuestra que los desarrollos tecnológicos (microscopio, medios de cultivo, pasteurización, vacunación y estructura de los ácidos nucleicos, Figura 1), aplicados estos principios y postulados, como los de Koch, sirvieron para que la población aumentará su número a nivel mundial, a través, del uso de estas tecnologías (fundamentadas en estos principios), permitió aumentar eliminar enfermedades como la viruela [7] aumentando la esperanza de vida en la población,

previniendo primordialmente, las muertes materno-infantil y abatiendo el número de muertes de niños menores de 5 años, debido generalmente a procesos infecciosos [6] Figura 2. Así un hecho histórico y globalizador, como lo fue, el final de la Segunda Guerra Mundial (agosto de 1945), marco un paradigma en la administración de los recursos naturales (explotación de recursos naturales mediante la eficiencia tecnológica, con alta sistematización y estándares de calidad aplicados a la transformación de estos recursos naturales) dedicados a la manufactura de bienes, así como el desarrollo de compañías que basaron su modelo económico con alcances globales, como un paradigma heredado, de la Segunda Guerra Mundial, marcaron las tendencias de las

Crisis Económicas locales con impacto global [2], dentro de estas crisis es necesario mencionar que las Crisis Económicas dejan su impronta en aspectos del desarrollo humano básicos como son: a) los ingresos económicos, b) acceso a la educación y c) acceso a la salud. Por lo tanto, en los inicios del siglo XXI, se exige que los profesionales del área de la salud deben ser sensibles a estos aspectos sociales y económicos, porque la salud y su administración la sitúa en el contexto de los aspectos del Índice de Desarrollo Humano (IDH) y su ponderación con el Índice de Gini, esto es particularmente cierto en el caso de una economía como la de los Estados Unidos Mexicanos. Se debe recordar, que los Estados Unidos Mexicanos, han firmado varios acuerdos supranacionales ante organismos económicos, como OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (dirigido en la actualidad por el Mexicano Dr. José Ángel Gurría) y de la cual emanan diferentes directrices económicas que han afectado a la economía y por lo tanto el aspecto de la salud humana [4].

### OBJETIVO

Coadyuvar y resolver los problemas de enseñanza y aprendizaje de Química, a través de la identificación de los problemas en el proceso de enseñanza a nivel superior.

### DISCUSIÓN

Así la economía de México, por su tamaño ocupa el número 15 según la OCDE a nivel mundial, más a pesar de este dato, el ingreso económico per cápita, no permite que le individuo mexicano, logre ocupar un IDH, que le permita tener una esperanza de vida acorde a este tamaño de economía, comparado esto con otras economías menores o aun dentro de la misma OCDE, lo cual contrasta con otros países y sus economías donde sus habitantes logran ingresos mayores y sus expectativas de vida pueden aumentar o estar salvaguardados [2].



**Figura 1.** Modelo de la estructura de ADN, Ácido desoxirribonucleico. Material didáctico.



**Figura 2.** Escultura de la erradicación de la Viruela escultor, Martin Williams, material de dominio público.

De esta manera, México, ha logrado a través, de los procesos tecnológicos masivos, como la pasteurización, la identificación de agentes infecciosos, la vacunación y la manufactura de antibióticos, disminuir la tasa de muertes materno infantil, sin embargo, el modelo económico actual, ha favorecido el consumo de productos alimenticios industrializados, los cuales son mayoritariamente, ricos en moléculas, como los carbohidratos, lípidos saturados y sales de sodio (cloruro de sodio, nitrito de sodio y glutamato mono-sódico) y pobres o carentes en fibra dietética o lípidos poliinsaturados.

De esta manera, el acceso a estos alimentos industrializados, condiciona la dieta humana a nivel nacional y parece estar asociado a la prevalencia de enfermedades con componentes metabólicos y una predisposición genética; algunas de estas enfermedades son consideradas problemas de salud pública (obesidad, diabetes mellitus, diabetes gestacional, dislipidemias, hipertensión arterial, insuficiencia renal, insuficiencia hepática) y se han convertido en una seria carga para las finanzas públicas [3]. De esta manera el profesional del área de la salud debe plantear su papel dentro del paradigma en la identificación de riesgos a la salud humana y jugar un papel importante en la prevención de este tipo de patologías no infecciosas y de esta forma incrementar el IDH referente al aspecto de salud [1].

El profesional del área de ciencias de la salud, particularmente el que se desarrolla dentro de los laboratorios clínicos y los referentes a la patología y sus vertientes de investigación, lo ponen en el centro del manejo y administración de la información generada a partir de las muestras biológicas que se procesan por medio, de las diferentes tecnologías aplicadas al análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos, donde el área bioquímica y molecular son fundamentales, para la generación de información útil, para los otros profesionales el área de la salud (medicina, nutrición, enfermería, salud pública y ahora economía y sociología), es por lo tanto el profesional de área en el laboratorio y su desempeño dentro de los laboratorios y particularmente dentro del área de bioquímica y molecular, el que debe de apropiarse de estas definiciones que le permitan que los datos generados en los laboratorios, se convertirán en indicadores del desempeño de la salud humana y puedan ser los mejores baremos para preservar la salud humana, como un valor y derecho al que todo individuo debe aspirar y no renunciar.

## CONCLUSIONES

Por lo tanto los futuros profesionales del área de la Salud deben de tener una formación, transversal en áreas económicas y sociales, lo cual permitirá que se pueda generar un nuevo paradigma en la gestión de la salud humana, en donde la transversalidad de disciplinas y áreas es fundamental para poder dar un cambio significativo en los servicios de salud en el país, a través del personal que se forme en el siglo XXI, dentro de los centros educativos a nivel superior.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto soportado por la Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Convocatoria CIC 2018-2019, como apoyo a la investigación científica y al CAEC-211 DE FISIOPATOLOGÍAS-211.

## REFERENCIAS

- [1] Campbell J., Buchan J., Cometto G., David B., Dussault G., Fogstad H., Fronteira I., Lozano R., Nyongator F., Pablos-Méndez A., Quain E.E., Starrs A., Tangcharoensathien V. (2013). Human resources for health and universal health coverage: fostering equity and effective coverage. *Bull World Health Organ.* 1;91(11):853-63.
- [2] de la Fuente J.R., Silink M., Violante-Ortiz R., Alcocer L., Mazanec M.B., Bond D.M., Shackleton L.A., Salazar-Lezama M.A., Coyote-Estrada N., Betancourt-Cravioto M. (2009). Global problems of local impact in health. *Gac. Med Mex.* 145(4):289-321.
- [3] García-Junco Machado D. (2012). Evolución del sistema de salud en México. *Gac. Med Mex.* 148 (6):518-24.
- [4] Paris V. (2014). The impact of the economic crisis on health systems of OECD countries. *Medecine Science.* 30(10):910-5.
- [5] Perspectivas de la población mundial: revisión de 2015. The Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat. Recuperado de: [https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key\\_Findings\\_WPP\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf)
- [6] Pyone T., Dickinson F., Kerr R, Boschi-Pinto C., Mathai M, van den Broek N. (2015). Data collection tools for maternal and child health in humanitarian emergencies: a systematic review. *Bull World Health Organ.* 2015 Sep 93(9):648-658.
- [7] Shchelkunova G.A., Shchelkunov S.N. (2017). 40 Years without Smallpox. *Acta Naturae.* 9(4):4-12.

## DESARROLLO DE MATERIAL DIDÁCTICO INTERACTIVO PARA LEM V ALIMENTOS: DESHIDRATACION OSMOTICA Y REHIDRATACION.

Carmen Patricia Aguirre Camacho<sup>1</sup>, María Elena Vargas Ugalde<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

[mevargasu@gmail.com](mailto:mevargasu@gmail.com)

### RESUMEN

Se ha observado que los estudiantes del Laboratorio Experimental Multidisciplinario V (LEM V) de la carrera de Ingeniería en Alimentos tienen conocimientos heterogéneos sobre las operaciones unitarias que se estudian en este laboratorio. Por otra parte, son muy buenos usuarios de las TIC's, incluyendo el uso de juegos en la computadora, que involucran el empleo de distintos sentidos, como la vista y el tacto, además de ejercitar la memoria y la capacidad de reacción. En este trabajo se desarrolló material lúdico interactivo para reforzar el aprendizaje de dos de las operaciones de transferencia de masa que se estudian en dicha asignatura: Deshidratación Osmótica y Rehidratación, empleando el software educativo JClic. El material incluye definiciones, rompecabezas, identificaciones, juego de memoria, asociaciones complejas y sopa de letras. Su uso es atractivo para los estudiantes, y ha facilitado el aprendizaje de conceptos y el manejo de las variables involucradas en estas operaciones.

**PALABRAS CLAVE:** Material Didáctico Lúdico-Interactivo, Software libre, Deshidratación Osmótica, Rehidratación.

### ANTECEDENTES

En el LEM V Alimentos se estudian experimentalmente diversas operaciones que involucran la transferencia de masa. La operación unitaria deshidratación osmótica (DO) es un tratamiento no térmico utilizado para reducir el contenido de agua de los alimentos, con el objeto de extender su vida útil y mantener características sensoriales, funcionales y nutricionales. Con esta técnica es posible lograr una deshidratación parcial del alimento, entero o fraccionado, mediante su inmersión en soluciones acuosas concentradas en solutos (soluciones hipertónicas) que tienen elevada presión osmótica y baja actividad de agua. Dentro de sus ventajas se encuentran: Evitar las pérdidas de aromas propios de las frutas, evitar las reacciones de oxidación (pardeamiento enzimático) que afectan directamente la apariencia del producto final, permitir mantener una alta calidad en el producto final, el cual con-

serva en alto grado sus características de color, sabor y aroma, impedir el fácil desarrollo de microorganismos que rápidamente atacan y dañan las frutas en condiciones ambientales. Este método es muy utilizado como método de conservación en frutas y hortalizas [1] La Rehidratación consiste en la absorción de agua por parte de los alimentos, ya sean enteros, en trozos o pulverizados, para poder ser cocinados y consumidos. El objetivo es alcanzar un estado lo más parecido posible al original. Los alimentos deshidratados deben rehidratarse lo más rápido posible y mostrar las mismas características estructurales y químicas del alimento fresco, así como sus propiedades nutricionales. [2] El uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación permite que el espacio y tiempo que puede dedicarse al estudio se amplíe más allá de los horarios destinados a las asignaturas, [3] donde, como es el caso de los Laboratorios Experimentales Multidisciplinarios (LEM) la mayor parte de ese tiempo se dedica

a la realización de proyectos experimentales y no propiamente al estudio teórico de las operaciones que ahí se emplean, requiriéndose únicamente disponer de una computadora o algún dispositivo móvil con acceso a internet para el acceso a los materiales.

Se ha observado que el nivel de conocimientos de los estudiantes que cursan el LEM V, no es homogéneo y que en muchos casos se han olvidado los conceptos, ecuaciones y metodología de resolución de problemas que se estudiaron en las materias teóricas precedentes. Por otra parte, se sabe que los conocimientos se retienen y utilizan mejor si para adquirirlos se involucran distintos canales de aprendizaje y se hace la aplicación de los mismos. [3] JClick es un conjunto de aplicaciones de software libre con licencia GNU GPL que sirven para realizar diversos tipos de actividades educativas multimedia, tales como: puzzles, asociaciones, ejercicios de texto, crucigramas, sopas de letras. es un conjunto de aplicaciones de software libre basado en JAVA, con licencia GNU GPL que sirven para realizar diversos tipos de actividades educativas multimedia tales como: puzzles, asociaciones, ejercicios de texto, crucigramas, sopas de letras. Se requiere de su instalación en una computadora para poder acceder a las aplicaciones.[4]

## OBJETIVO(S)

Desarrollo de material didáctico interactivo de las operaciones unitarias Deshidratación Osmótica y Rehidratación, mediante el desarrollo de actividades lúdicas por medio de la aplicación de software educativo, para que los alumnos que cursan el LEM V Alimentos incrementen la comprensión y empleo de estas operaciones y que sirva como un apoyo de estudio que facilite su entendimiento y aplicación.

## DESARROLLO DEL MATERIAL.

Para el desarrollo del material lúdico interactivo se realizó primero una búsqueda bibliográfica, hemerográfica y en línea sobre deshidratación osmótica y rehidratación, se seleccionó el material a emplear, se desarrolló la información teórica sobre los temas (fundamentos, ecuaciones aplicables, secuencias de cálculo, equipos), se elaboraron presentaciones en PowerPoint sobre Deshidratación Osmótica y Rehidratación, Finalmente se realizó un programa lúdico interactivo de Deshidratación Osmótica en presentación J Click que incluye los siguientes apartados:

-Sección de definiciones (Rellena o escoge la incógnita):

Deshidratación Osmótica. Ósmosis. Difusión- Ley de Fick.

-Sección rompecabezas: Transferencia de masa en la DO. Diagrama de flujo sobre el proceso de DO en frutas.

-Sección identificación: Ventajas potenciales de la DO. Desventajas potenciales de la DO.

-Sección Juego de memoria: Transporte de masa en la DO. Etapas de proceso de la DO. Equipos de proceso.

-Sección Asociación Compleja (Relación de columnas):

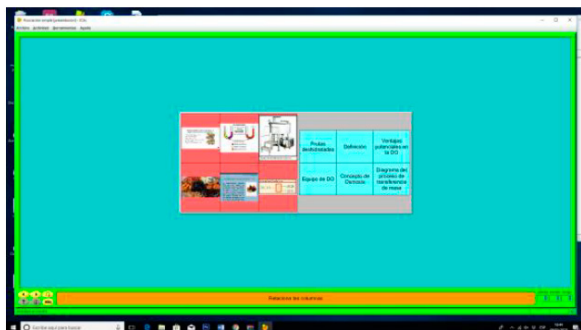
-Composición Química de las frutas. Factores de transporte de masa en DO. Equipos de proceso. Conceptos de DO. Agentes osmóticos: usos y ventajas.

-Sección sopa de letras: Palabras correspondientes al tema de DO. En la Figura 1 se presenta como ejemplo una diapositiva de la presentación en PowerPoint para Deshidratación Osmótica.



Figura 1. Flujos de solutos y agua durante la deshidratación osmótica.

En la Figura 2 se presenta como ejemplo la pantalla de la actividad: Asociación simple (Relación de columnas) para deshidratación osmótica.



**Figura 2.** Asociación Simple (Relación de columnas) en JCLic, para Deshidratación Osmótica

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de software educativo, tiene como objetivo que el alumno adquiera o refuerce un conocimiento por medio de juegos interactivos en la computadora.

Estos programas son pensados tanto en el docente como en los alumnos, ya que agiliza y hace más dinámicas las clases. Utilizados correctamente dan buenos resultados. Estos métodos de enseñanza motivan y atraen inconscientemente al alumno, ayudando así a facilitar el aprendizaje. En el aprendizaje humano, el órgano visual ofrece la mayor interrelación con el mundo exterior. El empleo de los medios visuales, facilita el óptimo aprovechamiento de los mecanismos sensoriales. Los medios de enseñanza también aumentan la motivación por la enseñanza y por la asignatura en particular. Cuando los medios de enseñanza presentan estímulos más vivos que faciliten la auto actividad del alumno, la seguridad en el proceso de aprendizaje o el cambio de actividad, se consigue aumentar la motivación por la enseñanza y por la asignatura en particular.

## CONCLUSIONES.

Con el uso de los medios de enseñanza se logra una mayor retención en la memoria de los conocimientos aprendidos. Cuando estos muestran aplicaciones de leyes y fenómenos estudiados a la vida social, operativa y científica y su influencia para el individuo se crean intereses por el conocimiento.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al programa DGAPA PAPIME PE208917 por el apoyo económico para desarrollar este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] Bocanegra D., Espinoza O. (2013) Parámetros de diseño del sistema de osmodeshidratación del yacón a partir de sus parámetros de proceso. (Disertación de Ingeniería Química) Copia bajo licencia recuperado el 10 Enero 2018, de <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa-/2.5/pe/>
- [2] Marín, B, Lemus R., Flores, V y Vega G. A. (2006) La Rehidratación de Alimentos Deshidratados. Revista Chilena de Nutrición. 33 (3):
- [3] Delgado, M., Arrieta, X., y Riveros, V. (2009) Omnia, 15 (3) 58 – 77 pp. Recuperado el 15 de marzo de 2018 de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73712297005>
- [4] García-Pozuelo F., Rello, J. s.f. Manual para crear actividades con el programa JCLic. Ed. Luis Vives Madrid. Recuperado el 16 octubre 2017 de: [www.educa.madrid.org/web/cp.luisvives.alcala/jcllic/manual%20completo.pdf](http://www.educa.madrid.org/web/cp.luisvives.alcala/jcllic/manual%20completo.pdf)

## IMPLEMENTACIÓN DE UN AULA VIRTUAL COMO APOYO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA MATERIA DE LABORATORIO DE CIENCIA BÁSICA I.

Julio César Botello Pozos\*, Marina Lucía Morales Galicia, Olimpia Roxana Ponce Crippa, Saturnino Maya Ramírez, Adriana Jaramillo Alcantar, Roxana Acevedo Nicolás, Alin Arizbeth Jiménez Castro

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,

[jbotello@comunidad.unam.mx](mailto:jbotello@comunidad.unam.mx)

### RESUMEN

La materia de Laboratorio de Ciencia Básica I (LCB-I) se imparte a estudiantes de carreras del área Química de la FES Cuautitlán, siendo el primer acercamiento a la metodología científica y a actividades experimentales en los estudios de licenciatura. En este trabajo se desarrolló la implementación de un aula virtual con el propósito de favorecer y reforzar la enseñanza y el aprendizaje de los alumnos en los temas del programa de LCB-I. De agosto de 2017 a la fecha se han tenido más de 5000 visitas de alumnos al sitio. Por medio de encuestas electrónicas y mediante una escala tipo Likert se determinó que un 97% consideran que los materiales y que la información contenida en ellos para el aprendizaje del tema es de bueno a muy bueno. Además, se tiene una conveniente evaluación en relación con la presentación, el lenguaje utilizado y la vía de distribución del material.

### ANTECEDENTES

La materia de Laboratorio de Ciencia Básica I (LCB-I) se imparte en el primer semestre de las licenciaturas del área Química en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), es el primer acercamiento del alumno a las actividades experimentales en los estudios de licenciatura. Siendo objetivo de ella el desarrollar habilidades tanto cognitivas como procedimentales, con el propósito de generar en el estudiante una visión científica y metodológica.

Se ha determinado que la experimentación favorece y promueve el aprendizaje de las ciencias, ya que permite al estudiante cuestionar sus saberes y confrontarlos con la realidad. La actividad práctica no solo debe ser vista como una herramienta de conocimiento, sino como un instrumento que promueve los objetivos conceptuales, procedimentales y actitudinales [1]

El LCB implica temas de importancia en la formación básica del estudiante, como metodología científica-

co-experimental, cálculos de relaciones de masa, disoluciones y cálculos para la preparación de disoluciones. Sin embargo, la revisión de éstos presenta dificultades para su comprensión debido al lenguaje técnico, a la abstracción químico-matemática que considera y principalmente a deficiencias en las bases académicas para el entendimiento de los temas.

Por otro lado, se debe considerar que actualmente la búsqueda de información se da con mayor frecuencia a través de materiales digitales y medios electrónicos, empleando las tecnologías de la información y comunicación (TIC) [2]. Por ello, es importante incursionar en el desarrollo e implementación de materiales de este tipo para que los estudiantes cuenten con recursos acordes las necesidades de información que requieren [3].

## OBJETIVO(S)

Implementar un aula virtual con recursos educativos de apoyo para favorecer y reforzar los procesos de enseñanza y aprendizaje de los temas comprendidos en el programa de estudios de la materia de LCB-I.

## PROCEDIMIENTO

La implementación del aula virtual considero las siguientes etapas:

- i) Selección de contenidos y síntesis de la información.
- ii) Diseño y desarrollo de los recursos académicos.
- iii) Implementación de los recursos en aula virtual.
- iv) Acceso a alumnos al aula virtual.

Para el diseño y elaboración de los recursos educativos se consideraron los siguientes aspectos:

- Utilización de un lenguaje sencillo, para facilitar la comprensión de los temas.
- Empleo de imágenes.
- Implementación de hipervínculos
- Inclusión de ejemplos.
- Presentaciones breves

Los recursos educativos desarrollados comprenden los temas de ciencia, metodología científico-experimental, conceptos estequiométricos, cálculos de relaciones de masa, disoluciones, concentración y cálculos químicos para la preparación de disoluciones. Adicional a los materiales elaborados se incluyeron libros en formato electrónico, videos y archivos de libre acceso relacionados con los temas del curso.

La implementación del material se realizó en un espacio institucional con la finalidad de ser consultada por la comunidad académica (estudiantes y profesores) que así lo requiera y con el propósito de que se tenga certeza que los documentos consultados contienen información fiable. Por ello se implementó un aula virtual en el ambiente de h@bitat PUMA. Para dar a conocer el aula virtual y el procedimiento para acceder a ella se realizó una presentación en formato pdf y se distribuyó a profesores y alumnos por medio de correo electrónico y empleando redes sociales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se desarrollaron un total de 33 recursos educativos en modalidad de presentaciones en formato pdf, y se implementaron 11 materiales más de acceso libre, así como los manuales de laboratorio, regla-

mento y archivos vinculados con el desarrollo académico de la materia.

Es importante destacar que en las presentaciones desarrolladas se emplearon imágenes y figuras con la finalidad de que el estudiante pueda vincular los conceptos revisados con situaciones o hechos cotidiano o con los que tiene relación. Además, en algunos conceptos y nombres de científicos se establecen hipervínculos con la finalidad de que puedan ser consultados y con ello profundizar sobre el tema, revisar información adicional que puede ser de interés o bien proporcionar recursos de utilidad. Para las imágenes y los hipervínculos empleados se cuidó que en todos los casos estuvieran etiquetados para reutilización no comercial (CCO) con el propósito de que se pueda tener una libre difusión de los recursos elaborados sin problemas de derechos de uso.

En los materiales que consideran cálculos químicos se presentan esquemas matemáticos para que los alumnos comprendan el algoritmo para la resolución, se presentan ejemplos mostrando los resultados y que con ello se pueda comprender mejor el procedimiento. La figura 1 muestra imágenes de diapositivas contenidas en el material desarrollado, se puede apreciar en ellas el empleo de imágenes y que al tratar problemas se presenta la descripción de algoritmos para la resolución y la respuesta para que el alumno conozca que debe obtener como resultado.

El alojamiento de los materiales en el aula virtual (figura 2) favoreció la consulta ya que ésta es posible mediante el empleo de cualquier dispositivo electrónico como pueden ser tabletas, lap top's, computadoras, smartphones, etc., con conexión a internet. Además, por el formato en el que se implementaron (pdf) es posible su descarga y portabilidad, lo que permite que el alumno o profesor pueda consultar los recursos en cualquier lugar y momento que lo desee.



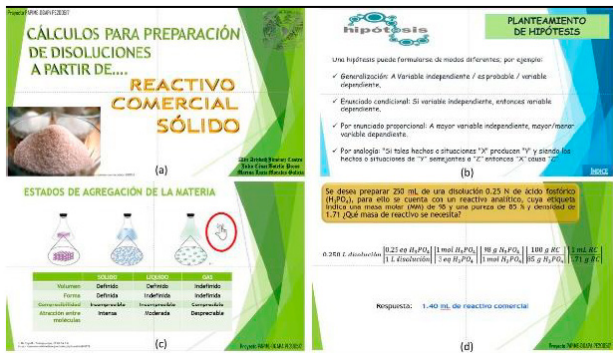


Figura 1. Imágenes que ejemplifican las dispositivos del material elaborado.

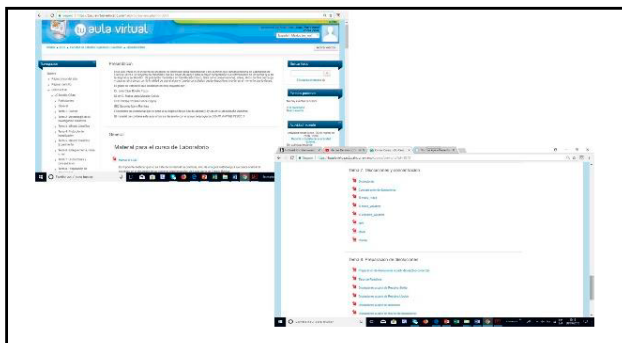


Figura 2. Imagen del aula virtual en h@bitat PUMA en la que se encuentran alojados los recursos educativos.

Con el propósito de conocer la opinión de los usuarios en relación a los materiales se implementó una encuesta en formato electrónico con escala tipo Likert, los resultados de ella se muestra en la tabla 1.

Es de destacarse que en general se tiene una buena evaluación del material ya que en los 5 rubros se tiene en un porcentaje mayor al 92% una opinión entre bueno y muy bueno, comprendiendo esto, tanto aspectos de contenido como de presentación y distribución de los recursos.

Por otro lado, de agosto de 2017 a la fecha se han registrado más de 5000 visitas al sitio, y en evaluación cualitativa, mediante comentarios recabados tanto en las encuestas como por medio de correos electrónicos, los estudiantes consideran que los materiales educativos les permiten encontrar información directamente relacionada con el curso, les resulta de interés y de utilidad; además les permite la consulta de manera rápida contando con una herramienta en la que puede encontrar la información requerida por medio de los dispositivos que emplean habitualmente para comunicarse.

Tabla 1. Resultados de las opiniones en relación a los recursos educativos implementados en el aula virtual

Pregunta	Respuesta (%)*				
	1	2	3	4	5
El material didáctico consideras que es un apoyo _____ para tu aprendizaje	0.0	0.5	3.6	22.5	73.4
La información contenida en el material didáctico fue de acuerdo con la consulta que realizaste	0.0	0.5	2.8	27.3	69.4
El lenguaje empleado en el material didáctico es:	0.0	0.2	6.8	29.7	63.3
La presentación del material didáctico (colores, imágenes, tipografía) es:	0.0	0.0	4.3	28.6	67.1
El medio de consulta v/o distribución del material didáctico es:	0.0	0.2	5.0	30.5	64.3

1=Muy malo, 2=Malo, 3=Regular; 4=Bueno; 5=Muy bueno

Con este trabajo se pone a disposición de los alumnos y docentes un conjunto de recursos educativos con información, de fácil acceso, con portabilidad de ella, confiables y apegados a los cursos de LCB-I.

## CONCLUSIONES

- Se genera un recurso en ambiente digital de fácil consulta.
- La información contenida en los materiales es confiable y apegada a los cursos de LCB-I
- El aula virtual proporciona a los alumnos una herramienta de consulta acorde a las formas de allegamiento de información empleadas en nuestros días.
- La consulta de los recursos educativos puede efectuarse en cualquier momento y lugar mediante un dispositivo electrónico y con acceso a internet o datos.
- Con la propuesta de este trabajo se permite la portabilidad de la información.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo del proyecto DGAPA PAPIME PE201818.

## REFERENCIAS

- [1] Giordan, M., Gois, J. (2009). Entornos virtuales de aprendizaje en química: una revisión de la literatura. *Educación química*, 20 (3), 301-313. Recuperado de <http://www.educacionquimica.info/busqueda.php>
- [2] López, A y Tamayo, O. (2012). "Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales". *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 1(8):145-166.
- [3] Mansilla, D.S., Muscia, G.C., Ugliarolo, E.A. (2013). Campus Virtual y Facebook en el ámbito universitario. ¿Enemigos o aliados en los procesos de enseñanza y aprendizaje? *Educación química*, 24(2), 255-259. Recuperado de <http://www.educacionquimica.info/busqueda.php>

## PROPUESTA DE UNA PRÁCTICA DE LABORATORIO DE QUÍMICA ORGÁNICA EN EL TEMA DE POLÍMEROS

María Fernanda Dávila Dulíz<sup>1</sup>, Guadalupe Michelle Hernández Márquez<sup>1</sup>, Hugo Alexis Pascacio Reza<sup>1</sup>, Judith García Arellanes\*<sup>1</sup>, Eva Hernández Godínez<sup>1</sup>, María Olivia Noguez Córdova<sup>1</sup>, Bernardo Francisco Torres<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1, Universidad Nacional Autónoma de México

[jbotello@comunidad.unam.mx](mailto:jbotello@comunidad.unam.mx)

### RESUMEN

Las instituciones a nivel superior deben generar productos de aprendizaje y experiencias que coincidan con los parámetros en tiempos, responsabilidades, coherencias y convivencias de la sociedad. Para ello deben ajustarse a diferentes situaciones, circunstancias y ambientes, requisito para que el alumno se incorpore a la práctica profesional y para desempeñarse efectiva y eficazmente. El presente trabajo pretende lograr lo anterior, consumando la propuesta de una práctica de laboratorio en serie, para la asignatura de Química Orgánica 1 en la carrera de IQ en el tema de polímeros, realizando el reciclado del unigel, y su posterior conversión en tres productos diferentes, con lo que se logra la incorporación de nuevos conocimientos que de forma global se traduce en estrategias de enseñanza-aprendizaje.

**PALABRAS CLAVE:** polímeros, poliestireno, PS, EPS, reciclado.

### ANTECEDENTES

La química orgánica echa mano de diferentes herramientas didácticas para poder aplicar sus conocimientos en la práctica y buscar en el acervo para resolver un problema definido, implicando en esta vía el alumnao su: capacidad de estudiar, proyectar, diseñar, planificar, desarrollar, cuestionar, evaluar componentes y actividades específicas de un campo profesional.

Es así que los estudiantes enfocados en la nula existencia de una práctica de laboratorio para Química Orgánica I en el área de polímeros para la carrera de Ingeniería Química, se dieron a la tarea de concentrar una propuesta con la temática de reciclado de unigel, cuya importancia actual se describe a continuación.

El poliestireno o unigel, es un compuesto sintético utilizado en muchas áreas de la industria y del hogar, sus aplicaciones van desde el uso como aislantes térmicos en los hogares, o aislantes eléctricos, hasta su uso como protección de equipos o envasado de alimentos.

México consume alrededor de 125 mil toneladas de

unigel al año, destinado principalmente al área de construcción y embalaje, de los cuales únicamente el 0.01% del total producido se recicla [1], es decir, que casi todo el unigel producido a nivel nacional es arrojado a la basura. A lo largo del mundo se han buscado alternativas para el reciclaje de poliestireno expandido (EPS), por ejemplo, en los últimos 10 años el reciclaje de productos plásticos ha aumentado un 80% en toda Europa [2].

Recientemente la startup "Rennueva", ha desarrollado tecnología para el reciclaje de unigel en México con el objetivo de transformarlo en materia prima útil [3]; de igual forma, se ha buscado crear conciencia a partir de la promoción de leyes que ayuden al medio ambiente, reduciendo y reciclando dicho polímero [4].

Esto generará un aumento en la economía del país al crear más industrias dedicadas al reciclaje de unigel, además de contribuir a la preservación ambiental, lo que repercutirá en la calidad de vida de los mexicanos.

## OBJETIVO

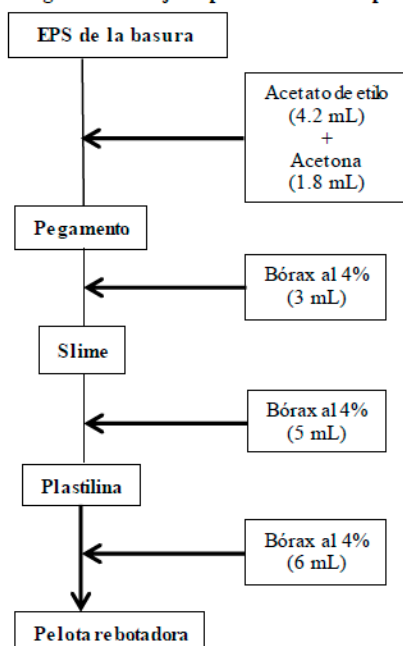
Proponer una práctica de laboratorio para la asignatura de Química Orgánica 1 en el tema de polímeros, donde se reciclará "unicel", para transformarlo en un producto útil y didáctico, ayudando a reducir el impacto ambiental que este genera, así como la promoción del aprendizaje de manera lúdica a través de una conciencia ecológica y sostenible.

## PARTE EXPERIMENTAL

*Tabla de Materiales:*

Materiales	Equipo	Reactivos
2 Pipetas de 10 mL	Campana de extracción	Acetato de etilo (70%)
Vaso de precipitados de 150 mL	Balanza granataria	Acetona (30%)
2 Probetas de 10 ml		Borax al 4%
Agitador de vidrio		Unicel
Microespatula		Colorantes

**Diagrama de flujo experimental de la práctica.**



## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- A. Pegamento
  1. Recolectar 6 g unicel de la basura.
  2. Mezclar 4.2 mL de acetato de etilo y 1.8 mL de acetona.
  3. Disolver el unicel en la mezcla de disolventes anterior incorporándolo con un agitador de vidrio hasta que tome la consistencia de un Pegamento líquido.
- B. Slime
  4. Preparar una disolución de bórax al 4% con agua.
  5. Agregar al pegamento anterior, unas gotas de colorante y 3 mL del bórax anterior y agitar hasta formar el Slime.
- C. Plastilina
  6. Adicionar a goteo 5 mL del bórax al Slime anterior, hasta obtener la consistencia de la Plastilina y poder moldearla con las manos.
- D. Pelota rebotadora
  9. Agregar a goteo 6 mL del bórax a la plastilina anterior, y moldear esta masa resultante para formar una pelota rebotadora que se resista la deformación y que bote sobre cualquier superficie.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el procedimiento experimental se logró con dos disolventes verdes la solubilización del unicel, logrando reciclarlo, al obtener la formación de un pegamento blanco y líquido, característico del que se comercializa, y con un estiramiento del 100-200% aproximadamente, con una naturaleza de deformación permanente como se aprecia en la Figura 1, además de una moderada tendencia a cristalizarse cuando es aplicado en superficies diversas.

Una vez formado el pegamento, se formó un slime (Figura 2) con ayuda de un volumen bajo de disolución de bórax al 4%. El bórax actúa como una base de Lewis que se une a la parte vinílica del poliéster (PS), al ser el bórax una molécula tetravalente, se coordina repetidamente con cuatro centros del PS, generando huecos entre una y otra molécula de bórax, donde las moléculas de agua se almacenan y se consigue la expansión o crecimiento del PS. El slime presenta un estiramiento superior al 500%, su naturaleza de deformación reversible e instantáneamente elástico y no se le observó tendencia a cristalizar.

En la tercera y cuarta etapa experimental, se logró de forma consecutiva y ordenada, la producción de la plastilina (Figura 3) y por último de la pelota rebotadora.

dora (Figura 4), ambos se lograron obtener en función de la cantidad de bórax adicionado (Tabla 1), por lo que sus características funcionales son provistas por la cantidad de agua retenida en el producto, a mayor cantidad de bórax agregado, más agua retenida, y más esponjosa y rebotadora se vuelve el bolo. La elasticidad es retardada y con mínima deformación, su estiramiento va de un 10-



**Figura 1.** Pegamento obtenido del unícel.



**Figura 2.** Se aprecia el slime y su alargamiento.



**Figura 3.** Se exhibe la plastilina coloreada y se aprecia su textura y rigidez.



**Figura 4.** Se observa el aspecto físico de la pelota que se formó

**Tabla 1. Cantidad de Bórax agregado por producto**

Producto	Cantidad de Bórax( mL)	Deformación
Slime	3	Deformación sin fuerza
Plastilina	5	Deformación con poca fuerza
Pelota	6	Poca deformación

## CONCLUSIONES

Con base en los objetivos se concluye que el unigel es un material el cual debe de tener una segunda vida para reducir el impacto ambiental que provoca, existen múltiples usos para este fuera de los presentados donde implica una mayor infraestructura para el tratamiento del mismo. Parte importante de que no existan legislaciones en contra de su uso es que aún no se genera un material de características similares pero de menor impacto.

También crear la conciencia sobre el uso desmedido de este recurso poco degradable y buscar propuestas como la presentada, con la finalidad de proponer metodologías alternativas para resolver problemas de la vida cotidiana y presentar una alternativa para reciclar y no para sintetizar más polímeros por el impacto que generan en la sociedad y generar una propuesta metodológica para incluirse en las prácticas de laboratorio de química orgánica I para la carrera de Ingeniería Química y en un futuro sembrar la inquietud en nuestros jóvenes profesionistas e implementar alternativas más viables que permita continuar con el reciclado de otro clase de polímero.

Finalmente, se obtuvo una propuesta de práctica de laboratorio para la asignatura de Química Orgánica 1 para la Carrera de Ingeniería Química en la FESC, en el tema de polímeros, donde se recicló el "unigel-basura", para transformarlo en un producto útil y didáctico, promoviendo así, el binomio aprendizaje-enseñanza de manera lúdica, provocando actitud de agentes de cambio en el alumnado con conciencia ecológica y ofertas alternativas sostenibles.

## REFERENCIAS

- [1] Plastics Europe (2017). Plásticos-Situación en 2017. [www.plasticseurope.org](http://www.plasticseurope.org). Recuperado el día 11/05/2018.
- [2] México Nueva Era (2016). En México se consume 125 mil toneladas al año. <http://mexiconuevaera.com>. Recuperado el día 11/05/2018.
- [3] Forbes México (2018). Esta startup, nacida en la UNAM, hace negocio con el unigel reciclado. [www.forbes.com.mx](http://www.forbes.com.mx) Recuperado el día 11/05/2018.
- [4] Senado de la Republica (2016). Reforma de la ley general para la prevención y gestión de residuos.[http://www.gepsie.com.mx/ArchivosProyecto/111016\(Inic\\_PVEM\\_Gerardo\\_Residuos\\_Unigel\).pdf](http://www.gepsie.com.mx/ArchivosProyecto/111016(Inic_PVEM_Gerardo_Residuos_Unigel).pdf). Recuperado el día 11/05/2018.

## RECICLADO DE UNICEL

Irving Cerino Carrasco<sup>1</sup>, Luis Fernando Martínez Espinosa<sup>1</sup>, María Susana Ramírez Aguilar<sup>1</sup>,  
Mario Armando Tellez Reyes<sup>1</sup>, Judith García Arellanes<sup>1</sup>, Eva Hernández Godínez<sup>1</sup>,  
Bernardo Francisco Torres\*<sup>1</sup> María Olivia Noguez Córdova<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1,  
Universidad Nacional Autónoma de México.

[maestra3judithgarcia@hotmail.com](mailto:maestra3judithgarcia@hotmail.com)

### RESUMEN

Este trabajo ofrece al profesor de Química Orgánica I para la carrera de Ingeniería Química de la FESC, un repertorio de experimentos para el tema de polimerización, específicamente en el reciclado de uncel, donde el alumno fundamenta opiniones sobre los impactos de la ciencia y tecnología en su vida cotidiana, identificando problemas sociales específicos, formulando preguntas de carácter científico y a su vez planteando percepciones personales a partir de evidencias científicas que son importantes para dar seguimiento a sus procesos de construcción de su conocimiento en el área de química orgánica experimental, de manera que: articulará saberes de diversos campos que permitan establecer relaciones entre estos, su vida cotidiana y su formación profesional.

**PALABRAS CLAVE:** Unicel, reciclado, contaminación, EPS, biodegradación, polímeros.

### ANTECEDENTES

Las ciencias experimentales están orientadas a que los estudiantes conozcan o apliquen los métodos y procedimientos de dichas ciencias para la resolución de problemas cotidianos a nivel laboratorio que puedan escalar a nivel industrial, favoreciendo todas estas posibilidades a generar acciones responsables y establecidas por parte de los estudiantes hacia el medio ambiente y hacia sí mismos.

En este sentido, la sección de Química Orgánica en la FESC, está aprovechando las áreas de oportunidad que generan las revisiones de sus manuales de actividades experimentales, con la finalidad de aportar nuevas posibilidades de experimentación en torno a los tópicos del temario, este documento muestra algunas propuestas del tema de polímeros, no enfocado a su síntesis, sino al reciclado de uno de los polímeros de mayor demanda como lo es el poliestireno (PS), que

es un polímero derivado de la polimerización de estireno.

El poliestireno expandido (EPS), a nivel nacional se consumen anualmente alrededor de 100 millones de toneladas de uncel, el equivalente a más de 13 millones de piezas entre vasos y embalaje para diversos productos de la industria electrónica, de las cuales solo se reciclan 400 toneladas lo que simboliza el 0.4% que se utiliza en el país, el restante se convierte en basura que nadie decide reciclar.

En la actualidad a nivel nacional solo existe una empresa que se dedica al reciclado de este polímero, la cual pertenece a la compañía de plásticos "Dart de México" la cual, a partir de los residuos del PS, son comprimidos, para posteriormente formar bolitas de PS, para ser utilizadas como materia prima. Dicho material no solo tiene un impacto a nivel ambiental sino también es dañino a la salud, ya que

su monómero, el estireno es considerado un compuesto cancerígeno.

Ya identificado el problema se decidió verificar experimentalmente los procedimientos reportados en la literatura a cerca del reciclado del unigel y se encontró que no es viable ya que al momento de llevar a cabo el procedimiento se requiere de disolventes orgánicos que también perjudican al ambiente y al hacer esto se generan residuos, esto quiere decir que al momento de llevar a cabo nuestro proceso de reciclado se generan más residuos que el mismo problema a resolver, por lo cual no hace que sea un procedimiento verde y sostenible.

A pesar de este problema, las cantidades que se desechan de este material son menores en comparación con los del plástico. Ya que es difícil el reciclado de este, bastantes ciudades estadounidenses han puesto en marcha una normativa en la que prohíben el uso de este material tan criticado por los ambientalistas. Algunas ciudades importantes que lo han logrado son Washington DC, San Francisco, Minneapolis, Portland y Seattle mientras que en ciudades como Paris y Toronto el debate sigue en pie.

## OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivo aportar metodologías experimentales que ilustren el tema de polímeros, e incluirlas en el manual de Química Orgánica I para la carrera de Ingeniería Química que no cuenta con una práctica con este tóxico.

## PARTE EXPERIMENTAL

Mezcla para reciclar de EPS en Fibra sintética:

1. En 10 ml de acetato de etilo, agregar paulatinamente trozos pequeños de EPS hasta que la masa total agregada sea de 5 g.
2. Agitar hasta obtener una mezcla homogénea.

Mezcla para reciclar de EPS en sustituto de plástico rígido:

1. Mezclar 10 mL de gasolina blanca con 10 mL de acetona/palmitato de isopropilo y 25 mL de hexano en un vaso de precipitados.

2. Agregar pequeños trozos de EPS a la mezcla.
3. Agitar hasta obtener una mezcla maleable similar a la plastilina.
4. Moldear la masa según se requiera.
5. Dejar secar durante 8 horas.

Mezcla para reciclar de EPS en Pegamento:

1. Mezclar 7 ml acetato de etilo con 3.2 ml de acetona.
2. Agregar constantemente pequeños trozos de EPS hasta que la masa total agregada sea 3.5 g.
3. Agitar con una varilla mientras se adiciona el EPS hasta lograr una mezcla homogénea y consistente.
3. Comprobar la consistencia de las fibras estirando la mezcla con una varilla de vidrio.

Mezcla para reciclar de EPS en Impermeabilizante (gasolina):

1. En 15 mL de gasolina agregar 10 g de EPS, estos en pequeños trozos, agitando con una varilla hasta obtener una mezcla homogénea.

Mezcla para reciclar de EPS en Barniz:

1. Mezclar 10 mL de acetato de etilo con 3 g de EPS.
2. Agitar hasta obtener una mezcla homogénea.

Mezcla para reciclar de EPS en Impermeabilizante (thiner):

1. En 30 mL de thiner agregar 5 g de EPS, estos en pequeños trozos, agitando con una varilla hasta obtener una mezcla homogénea.

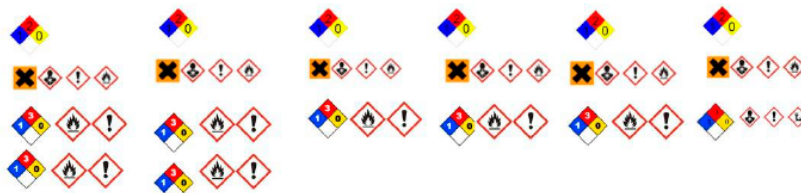
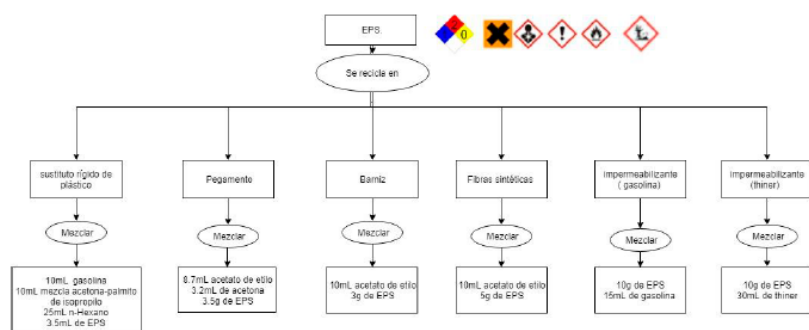


Diagrama de flujo de las mezclas para reciclar el EPS.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producto	Observaciones de su uso:
Sustituto de plástico rígido	Se comprobó su gran rigidez mediante la aplicación de una fuerza externa.
Pegamento	Logró adherir superficies diferentes: plástico, papel, madera y vidrio.
Barniz	Se logró barnizar una superficie de madera cumpliendo su funcionalidad.
Fibras sintéticas	Se puede utilizar en la industria textil.
Impermeabilizante (gasolina)	Se aplicó a la superficie de un ladrillo rojo, logrando su función.
Impermeabilizante (thiner)	Se aplicó a la superficie de un ladrillo rojo, logrando su función.

El reciclado de uniceL resulta útil para producir otros materiales como: sustituto de plástico rígido, pegamento, barniz, fibras sintéticas, impermeabilizantes; por lo que podemos afirmar que su reciclado es exitoso y los productos emanados de él presentan funcionalidad en su nueva transformación y futura implementación.

La metodología del reciclado del EPS, muestra la actividad experimental en el laboratorio, y además atiende el compromiso que se tiene con el ambiente en nuestro ámbito laboral y profesional, que ayude a contribuir a un trabajo experimental sostenible de manera crítica, por lo que es conveniente planificarlo mediante un diagrama de flujo como el aquí mostrado, que le da relevancia: al trabajo a microescala que abate costos, riesgos, tiempo, etc.; a la cultura de higiene y seguridad que resalta como previsor de riesgos, accidentes, daños, altos costos de operación, etc., a los pictogramas CRETIB que alertan de peligros y riesgos de sustancias químicas, previniendo con ello accidentes, etc., a los rombos NFPA que advierten grados y niveles de peligrosidad, promoviendo protección personal, del inmueble y de los ecosistemas.

## CONCLUSIONES

Se experimentaron, mejoraron y propusieron, seis diferentes metodologías para el reciclado del EPS, mismas que podrán ser incluidas en el manual de laboratorio de Química Orgánica I para la carrera de IQ, apoyando así, la articulación de saberes de diversos campos, que permitan establecer relaciones entre estos, su vida cotidiana y su formación profesional.

## REFERENCIAS

- [1] Flores Ramírez, Juan Gerardo. (2017). Iniciativa con proyecto de decreto por el que se reforman los artículos 7, 19, 33, 98 y 106 de la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos, en materia de reciclaje de uniceL. 11/05/2018, de Partido Verde Ecologista de México Sitio web: [http://www.gepsie.com.mx/ArchivosProyecto/111016\(I-nic\\_PVEM\\_Gerardo\\_Residuos\\_UniceL\).pdf](http://www.gepsie.com.mx/ArchivosProyecto/111016(I-nic_PVEM_Gerardo_Residuos_UniceL).pdf)
- [2] NOVA Chemical. (2016). poliestireno expandible. 11/05/18, de NOVA Chemical Sitio web: [http://www.novachem.com/EPS/Documents/Safety\\_Guide\\_spanish.pdf](http://www.novachem.com/EPS/Documents/Safety_Guide_spanish.pdf)

## PROCESO DE DISEÑO EDITORIAL DE UN MATERIAL CIENTÍFICO: TÉCNICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS

Blanca Miriam Granados Acosta<sup>1</sup>, Victoria Oralia Hernández Palacios<sup>1</sup>,  
María del Rocío Ramírez Salgado<sup>1</sup>, Mayte Castro Martínez<sup>1</sup>, Carla Denice Miranda Gracia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, DCV

[granados.miriam@gmail.com](mailto:granados.miriam@gmail.com)

### RESUMEN

Técnicas físicas y químicas para la identificación de compuestos orgánicos es el resultado de un proyecto multidisciplinar PAPIME PE205917, donde con seis técnicas de laboratorio se apoya la caracterización de compuestos orgánicos: punto de fusión, índice de refracción de líquidos, punto de ebullición, densidad, solubilidad y análisis elemental. Las técnicas se desarrollan bajo criterios editoriales que incluyen imágenes, textos y colores, donde el diseño gráfico es relevante para su edición y publicación, es un material digital interactivo (videos y ligas), a través del trabajo colaborativo entre varias disciplinas, para estar en la RUA (Red Universitaria de Aprendizaje).

**PALABRAS CLAVE:** Imagen, tipografía, color, interactividad, multidescarga.

### ANTECEDENTES

El cartel muestra el proceso de edición de un material científico cuyo propósito es hacer legible y armónico un documento que inicialmente parte de un texto capturado en word. El diseño editorial aplicado al mismo, consta de imágenes, textos y colores. Para las primeras, se hicieron tomas fotográficas durante los experimentos realizados en laboratorio, que luego fueron editadas. Los textos fueron compuestos con tipografía para edición en un tamaño óptimo para su legibilidad y leibilidad y el color fue aplicado conforme a una paleta armónica. Los elementos conjugados dieron forma a un texto no solo armónico, sino además interactivo, ya que al mismo fueron agregados materiales en formato de video y enlaces a la web. El material es de multi descarga en cualquier dispositivo.

### OBJETIVO(S)

Mostrar el trabajo multidisciplinar y su conjugación para la creación de un material didáctico atractivo y funcional.

### METODOLOGÍA

Acopio de información, texto originalmente capturado en word y sin formato.  
Análisis, síntesis de la información.  
Creación de un concepto editorial  
Toma de fotografías y edición  
Elección de una fuente tipográfica de edición.  
Diseño de doble página  
Edición  
Compaginación

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Creación de un material didáctico subido a la RUA para consulta abierta en el área de ciencias Químicas <http://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/21513>, vigente.

El material realizado conjuga el trabajo docente entre académicos y alumnos de las áreas de Ciencias Químicas y Diseño y Comunicación Visual, fomentando entre los estudiantes la profesionalización y entre docentes la multidisciplinaria que caracteriza a la Facultad.

## CONCLUSIONES

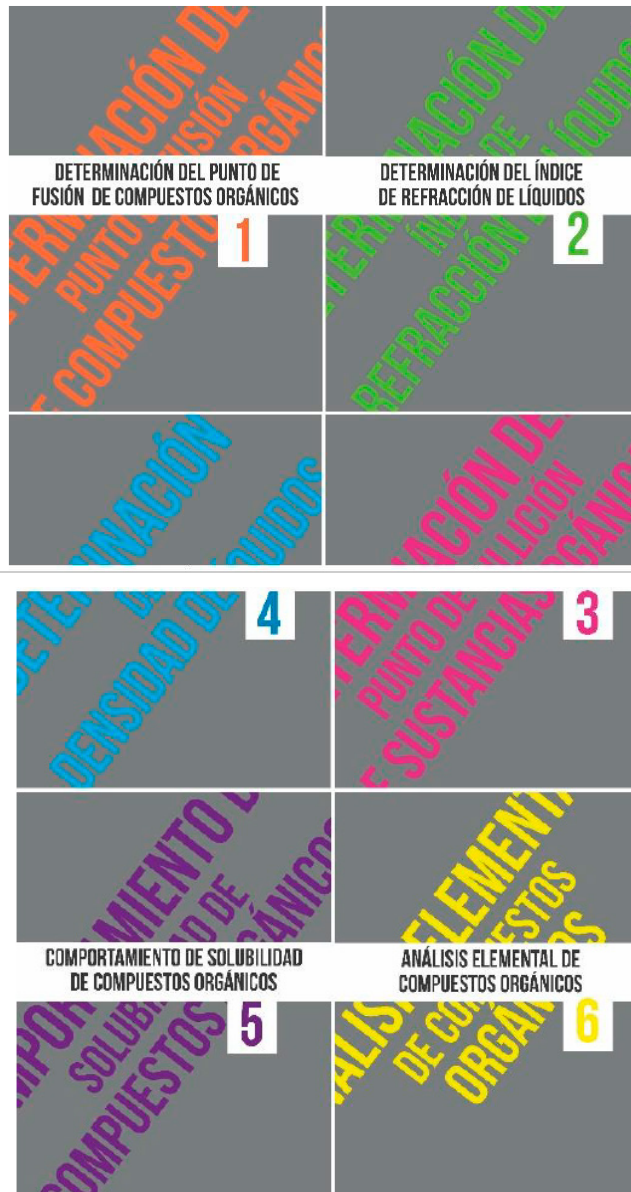
- Ventaja de un trabajo multidisciplinar: presentación original y armónica, apta para su consulta y lectura favorables, con un alto grado de calidad editorial.
- Presentación y subida a la red de un material digital de vanguardia, con tecnología que permite la multi-descarga.
- Enseñanza aprendizaje que empata con los códigos usados por las nuevas generaciones.
- Una de las desventajas encontradas es la copia y circulación de un material de autoría que no incluye créditos.

## AGRADECIMIENTOS

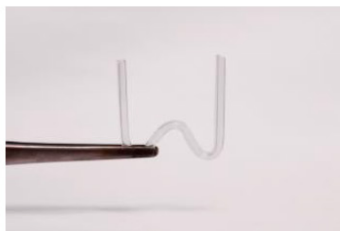
Proyecto realizado con el apoyo del programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE205917.

## REFERENCIAS

- [1] Haslam, A., Baines, P. (2002). Tipografía: Función, forma y Diseño. Barcelona: Gustavo Gili.
- [2] Küpper, H (1992). Fundamentos de la Teoría de los Colores. México: Gustavo Gili.
- [3] Samara, T (2004). Diseñar con y sin retícula. Barcelona, España: Gustavo Gili.



Diseño Editorial



Ejemplos de imágenes fotográficas editadas

## DIFUSIÓN DE LOS DERECHOS UNIVERSITARIOS

Elías Chávez Hernández<sup>1</sup>, Alberto González Aguilar<sup>1</sup>, William Nelson Juste García<sup>1</sup>, Márquez Rosas Manuel Alejandro<sup>1</sup>, Matthew Méndez Antonio<sup>1</sup>, Ariana Pérez Arroyo<sup>1</sup>, Ixsoyen Felipe Vázquez Sandoval<sup>1</sup>, Raúl Martínez Mondragón<sup>1</sup>, Maximiliano Colín Martínez<sup>1</sup>, Esmeralda Arce Martínez<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, DCV

### RESUMEN

Se realizó una investigación sobre la información que tienen los estudiantes de 8° semestre de FES Cuautitlán Campo 1, sobre sus derechos como universitarios, así como cuales son los más importantes y como pueden ejercerlos, mediante una encuesta.

**PALABRAS CLAVE:** Derechos Universitarios, ejercer, encuesta, difusión, identidad.

### ANTECEDENTES

Los derechos universitarios corresponden a una parte fundamental de un estudiante para ejercer los derechos y obligaciones que adquiere al formar parte de la comunidad universitaria, con el fin de la convivencia y desarrollo óptimo dentro de las instalaciones. Estos derechos están asentados sobre principios básicos e inherentes a la dignidad humana, que permean la normatividad universitaria y conducen la actuación de las autoridades e instancias académicas y administrativas, para la realización cotidiana de los fines de la Universidad. Entre tales principios se encuentran: la igualdad, la no discriminación, el respeto, la proscripción de la violencia y la legalidad.

La comunidad UNAM se reconoce como una institución libre y autónoma para ejercer y exigir estos derechos básicos, por lo que a lo largo de los 109 años como universidad, ha tratado de informar no solo a los estudiantes, sino a todos los integrantes de la comunidad universitaria y alentarlos a denunciar cualquier violación a los estatutos de la defensoría universitaria [1]. Uno de los más importantes, se realiza cada año en todos los planteles de la uni-

versidad, con el fin de realizar pláticas y visitas de personal de la dependencia, donde se les podrá orientar y regalar material con la información de contacto. En un caso más específico, la defensoría también ha buscado concientizar y evitar el acoso estudiantil mediante un conjunto de seminarios impartidos por especialistas en protección integral, así como las entidades correspondientes de la defensoría de cada plantel [2].

### OBJETIVO(S)

El objetivo general del trabajo es conocer acerca del conocimiento de los derechos universitarios de los estudiantes que están cerca de egresar de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1, a través de la realización de una encuesta a los alumnos de 8° semestre de cada carrera de la Facultad.

Se busca conocer si tienen los alumnos que van a egresar, la formación de la identidad como estudiante que se va a transformar a una identidad que se adentrará al entorno laboral y relacionarse interpersonalmente entre los diferentes miembros de la sociedad laboral y social.

## FORMA DE TRABAJO

Se realizó una encuesta la cual contenía 10 preguntas acerca del conocimiento de sus derechos que reciben al ser inscrito en UNAM, esta se aplicó a los alumnos de 8° semestre de cada carrera que se encuentra registrada en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo 1. Las preguntas que se hicieron fueron:

1. ¿Crees que es importante conocer los principios éticos y los derechos de los estudiantes universitarios?
  - a) Sí. Es mi obligación como universitario
  - b) Solo lo indispensable
  - c) No me interesa en absoluto
2. ¿Por qué crees que es importante conocerlos?
  - a) Me permite ser parte de la toma de decisiones dentro de mi universidad
  - b) Me permite reconocer si estoy ante cualquier tipo de injusticia
  - c) No es importante conocerlos
3. ¿Sabías que existe un órgano independiente que tiene por finalidad recibir las reclamaciones de los estudiantes y personal académico de la UNAM?
  - a) Sí
  - b) No tenía ni idea
  - c) Me vengo enterando
4. ¿Adónde acudirías si sufres una violación de tus derechos universitarios?
  - a) Coordinación de la carrera
  - b) Defensoría de los Derechos Universitarios
  - c) Servicios escolares
5. ¿Asistirías a una conferencia/exposición sobre la importancia de que conozcas tus derechos como universitario?
  - a) Sí. Para informarme más o para conocerlos
  - b) No. Es una pérdida de tiempo
  - c) Tal vez.
6. ¿Consideras que se puede reducir los abusos y/o injusticias si los estudiantes están al tanto de sus derechos universitarios?
  - a) Sí
  - b) No
  - c) Yo qué sé

7. ¿Por qué crees que a alguna parte de la comunidad estudiantil no conoce sus derechos?

- a) No saben que existen
- b) Temen hacerlos valer
- c) Los conocen, pero les da igual la situación

8. ¿Consideras que alguna vez has sido víctima de alguna injusticia dentro de la facultad?

- a) Sí
- b) No

Cuál: \_\_\_\_\_

9. ¿Lo denunciaste?

- Sí
- No

10. Menciona al menos 1 principio y 1 derecho como estudiantes de la UNAM.

11. Se tomaron muestras representativas de cada carrera en la Facultad dependiendo del número total de alumnos registrados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

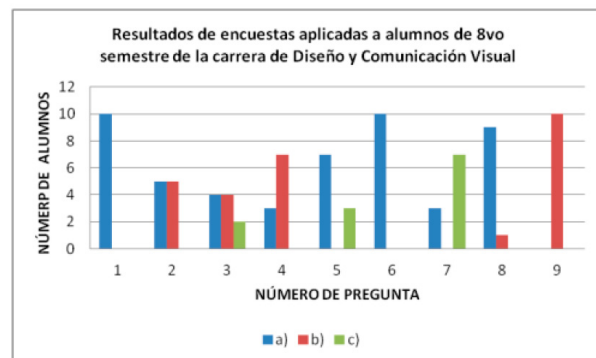


Figura 1. Resultados de la encuesta a alumnos de DCV

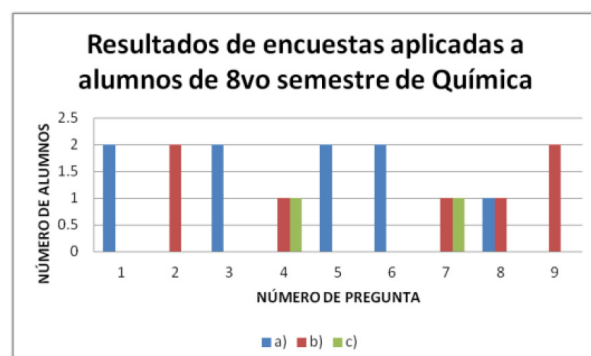


Figura 2. Resultados de la encuesta a alumnos de Química

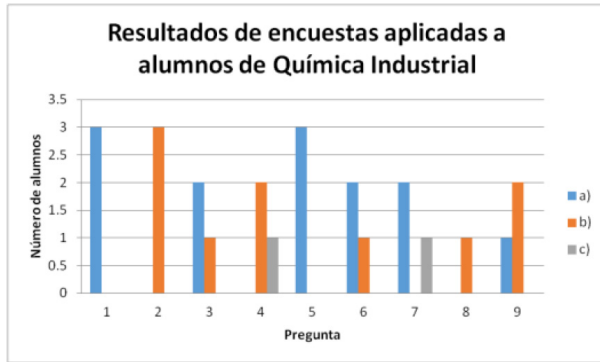


Figura 3. Resultados de la encuesta a alumnos de QI

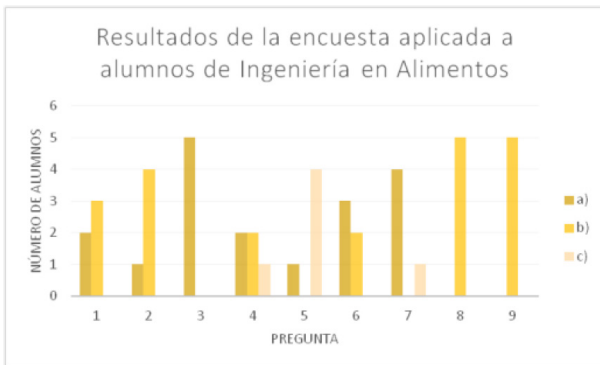


Figura 4. Resultados de la encuesta a alumnos de IA

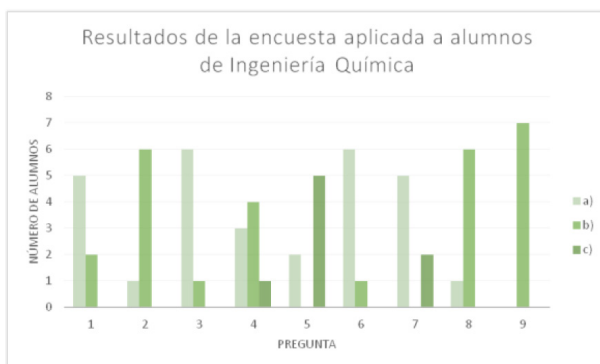


Figura 5. Resultados de la encuesta a alumnos de IQ

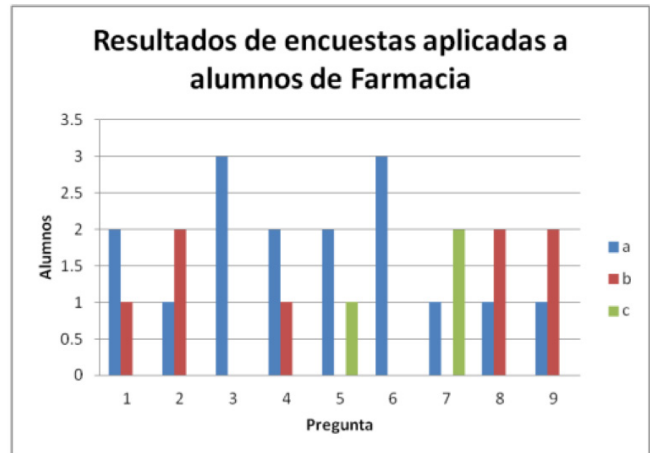


Figura 6. Resultados de la encuesta a alumnos de Farmacia

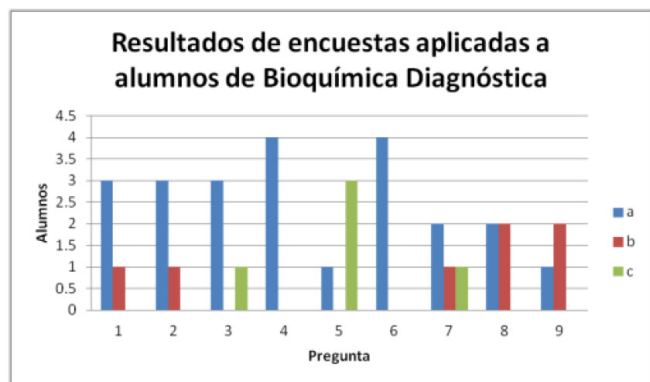


Figura 7. Resultados de la encuesta a alumnos de BQD

De los 37 alumnos de 8° semestre que se encuestaron en total, el 81% saben que es importante saber acerca de los derechos como universitarios, los cuales son un aspecto de su identidad como alumno inscrito en la Universidad Nacional Autónoma de México. Al saber que estaba en contra de sus derechos, el 46% de los alumnos no lo denunciaron. Esto puede ser explicado por el temor a que les afecte académicamente o por no saber cuál derecho fue respetado.

### CONCLUSIONES

Se busca que la comunidad esté informada acerca de los procedimientos a seguir en caso de que sus derechos se vean transgredidos, y los diferentes órdenes jerárquicos a seguir para que la comunidad logre hacer valer sus derechos, además de que tenga un impacto social dentro de la comunidad de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1.

## REFERENCIAS

- [1] Defensoría de los Derechos Universitarios, UNAM, 2014, Consultado el día 06 de Mayo de 2018 en <http://www.ddu.unam.mx/>
- [2] Oficina de la abogada general, UNAM, Consultado el día 06 de Mayo de 2018 en <http://www.abogadogeneral.unam.mx/index.html>

## APLICACIÓN INTERACTIVA PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS RAZONES FINANCIERAS.

Adolfo Eduardo Obaya-Valdivia <sup>1\*</sup>, Iván Miguel García-López<sup>1</sup>, Jesús Antonio Rocha-Vicente<sup>1</sup>, Fanny Itzel Valdivieso-Sandoval<sup>1</sup>, Álvaro Enrique Lima-Vargas <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>2</sup>Plantel Satélite, Universidad Mexicana

[obaya@unam.mx](mailto:obaya@unam.mx), [alvarolima60@yahoo.com](mailto:alvarolima60@yahoo.com)

### RESUMEN

En los últimos años los conceptos de finanzas han pasado de ser temas exclusivos para las carreras del área de las ciencias sociales a formar parte de planes de estudios de las carreras de las áreas de ciencias biológicas, ciencias químicas, etc., por lo cual se plantea crear una estrategia didáctica que apoye al docente a desarrollar las capacidades de los estudiantes en su primer contacto con las finanzas. En este trabajo se diseñó una aplicación interactiva en programación JAVA denominada RAZÓN, la cual generó como resultado el desarrollo en la capacidad de análisis de los estudiantes

**PALABRAS CLAVE:** Finanzas, Aplicaciones Interactivas, Programa, Razones Financieras, RAZÓN

### ANTECEDENTES

En los últimos años las universidades han modificado los planes de estudio de algunas carreras en las ciencias sociales para integrar conceptos económico-administrativos que anteriormente eran exclusivos de carreras enfocadas en el desarrollo de actividades administrativas, dentro de los nuevos conocimientos que se integran a los planes de estudio se pueden ver 4 ramas principales: Teorías Administrativas, Mercadotecnia, Recursos Humanos y Finanzas. [1]

Específicamente en los cursos de Finanzas de las licenciaturas, se estudian los estados financieros, así como sus análisis mediante las razones financieras, el proceso de enseñanza aprendizaje de estos temas es mediante la aplicación de ejercicios tradicionales con el objetivo de generar el entendimiento y análisis de los conceptos, sin embargo, para poder asegurar el dominio de los conceptos teóricos y prácticos por parte del estudiante se acostumbra la

aplicación de una gran cantidad de ejercicios, los cuales desenmascararan y fortalecerán los puntos débiles sobre el aprendizaje del estudiante [2,3,4].

También hay que hacer notar que las nuevas generaciones nativas digitales manejan la información con mayor agilidad, debido a eso, el docente necesita proporcionar al alumno una retroalimentación más dinámica. Es por ello que surge la necesidad de crear una estrategia didáctica que apoye al docente a desarrollar las capacidades de análisis de los estudiantes en los conceptos de razones financieras

### OBJETIVO(S)

Crear una estrategia didáctica que apoye al docente a desarrollar las capacidades de análisis de los estudiantes en los conceptos de razones financieras. Mediante el apoyo de una aplicación interactiva en lenguaje de programación llamado JAVA.



## DESARROLLO DE ESTRATEGIA

En este trabajo, se diseñó un aplicación interactiva en programación JAVA denominada RAZÓN, que contiene 2 secciones; la primera: TEORÍA DE RAZONES FINANCIERAS en cual presenta los temas; Balance General, Estado de Resultados; y la segunda: EJERCICIOS DE RAZONES FINANCIERAS, esta última con diversos tipos de ejercicios diseñados de manera secuencial para aprender y analizar las razones financieras.

- Investigación del Tema

Se desarrolló una investigación teórica sobre los conceptos principales de las razones financieras basándose en la bibliografía presentada en el plan de la materia de finanzas de administración y contabilidad, enfocándose en los temas Estados Financieros, Razones Financieras y Ejercicios. Para la parte práctica se desarrollaron ejercicios de autoría propia enfocados en reforzar el análisis de las razones financieras.

- Diseño de Imagen

Se desarrollo el nombre de la aplicación RAZÓN, se diseño un logo así como 9 fondos diferentes los cuales hacen hincapié en los ejercicios, los conceptos importantes, etc.



- Desarrollo de la Aplicación

La aplicación se desarrolló en 10 etapas

1. Desarrollo de clases para albergar los Frames.
2. Desarrollo de paquetes de organización en árbol para el funcionamiento.
3. Importar librerías.
4. Desarrollo de lenguaje de programación Java y programado del funcionamiento de cada botón.
5. Acomodar los elementos en relación al Layout de Java.
6. Añadir fondos a cada Frame.

7. Validaciones correspondientes para cada botón, dependiendo del ejercicio, utilizando ciclos de programación llamados "anidados".

8. Añadir el texto a través de componentes de librerías nativas de Java como AWT.

9. Generar el "Splash" de inicio al sistema.

10. Compilar y generar el archivo ejecutable.



Figura 1. Frame Teoria

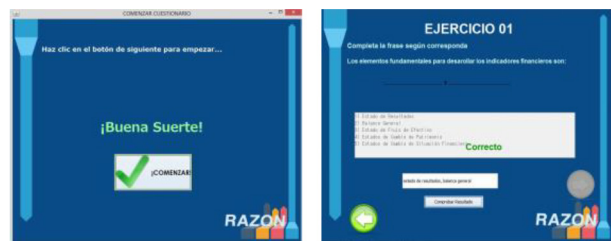


Figura 2. Frame Practica

- Desarrollo de Pre-Test y Pos-Test

Se desarrolló un test para evaluar el conocimiento de los estudiantes sobre las razones financieras. El test contiene 30 preguntas presentadas en 3 ejercicios

- Ejercicios 1

Corresponden 9 reactivos los cuales contienen las definiciones teóricas de los conceptos fundamentales de las razones financieras.

- Ejercicio 2

Corresponde a 6 reactivo relacionados con los elementos de las razones financieras en los cuales se definirán las características de los elementos.

- Ejercicio 3

Corresponde a 15 reactivos en el cual se resolverá un caso mediante la aplicación de las formulas de las razones financieras para finalizar con un análisis del caso, en el cual se discierne la viabilidad de la compra de un departamento en los primeros años de egresado, analizando los resultados financieros e integrando su necesidades y plan de vida.

## APLICACIÓN DE ESTRATEGIA

Esta estrategia se aplicó a 25 estudiantes en la Universidad Nacional Autónoma de México en la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, a estudiantes de Licenciatura de Informática en la materia de Finanzas correspondiente al 5° semestre, la estrategia se desarrolló en 4 etapas.

- Etapa 1. Pre-Test

Los alumnos realizaron el Pre-Test de manera individual para saber los conocimientos previos sobre el análisis de los estados financieros, cabe hacer mención que este es el primer contacto de los estudiantes con la materia de Finanzas, sin embargo, el tema corresponde al segundo parcial por lo cual los estudiantes ya poseen conocimientos básicos de finanzas.

- Etapa 2. Presentación de Conceptos

En esta etapa se presentó el tema de razones financieras de manera tradicional, mediante una presentación de power point, en la cual exponen las diferentes teorías, los conceptos, así como los elementos y las formulas de las razones financieras, Posteriormente se presentó y resolvió un caso correspondiente al tema.

- Etapa 3. Uso de Aplicación

En esta etapa se integró a los estudiantes en equipos de 4 a 5 estudiantes, se les presentó la aplicación, su funcionamiento y la restricciones de la dinámica, los estudiantes debieron usar la aplicación y resolver los ejercicios, sin embargo, no se podría colocar ninguna respuesta en el ordenador hasta que fuera de manera unánime, así mismo, no podrían regresar a ver las temas en la aplicación.

- Etapa 4. Pos-Test

En esta etapa se aplicó el Pos-Test de manera individual a los estudiantes para identificar el nivel de mejora después del uso de la estrategia.

### Resultados

Se evaluaron los resultados del Pre-Test y Pos-Test, en el cual se observaron un incremento general en el conocimiento de los estudiantes en un 36%, con una media en el Pre-Test de 37% y 73% en el Pos-Test.

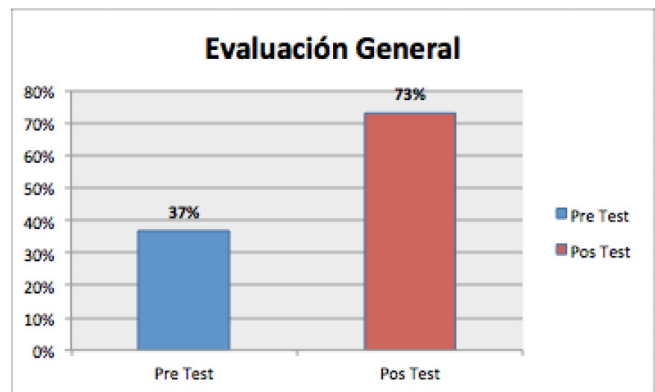


Figura 1. Evaluación Pre-Test y Pos-Test General

- Ejercicios 1

En el ejercicio 1, los estudiantes presentan un avance en la identificación de definiciones conceptos en un 19%, con una evaluación en el Pos-Test de 53% y en el

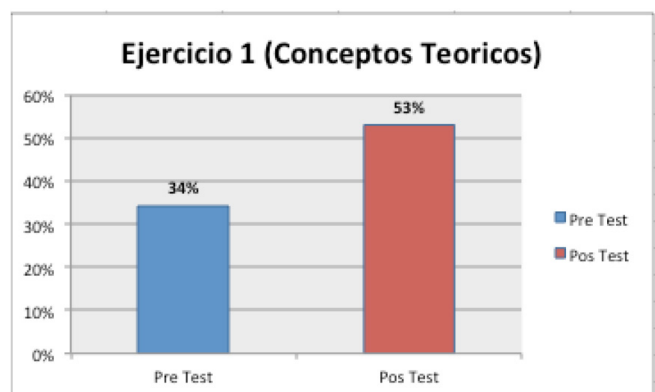


Figura 2. Evaluación Pre-Test y Pos-Test Ejercicio 1

- Ejercicios 1

En el ejercicio 1, los estudiantes presentan un avance en la identificación de definiciones conceptos en un 19%, con una evaluación en el Pos-Test de 53% y en el Pre-Test del 34%.

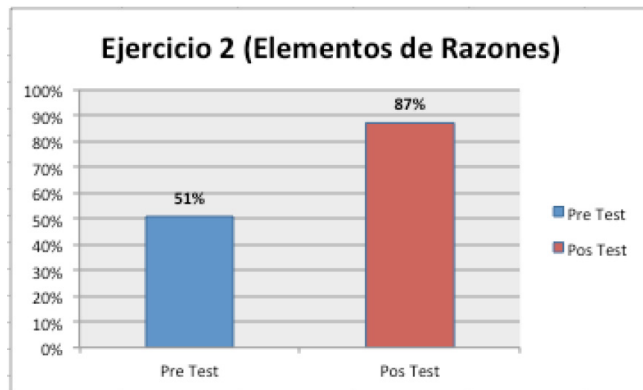


Figura 3. Evaluación Pre-Test y Pos-Test Ejercicio 2

#### • Ejercicio 3

En el ejercicio 3 resolución de caso y análisis, los estudiantes mostraron el mayor desarrollo de sus conocimientos y capacidades con un 52%, obtenido inicialmente 26% en el Pre-Test y 78% en el Pos-Test.

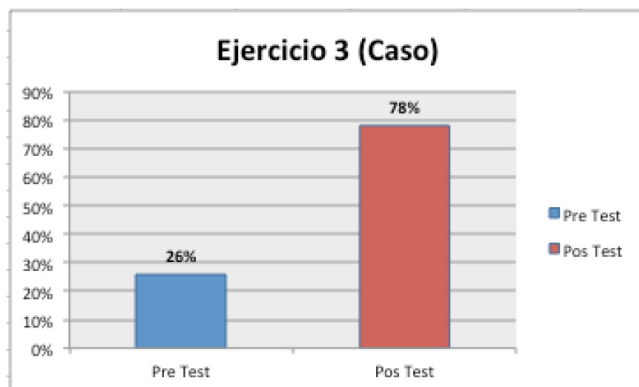


Figura 4. Evaluación Pre-Test y Pos-Test Ejercicio 3

## DISCUSIONES.

En el último ejercicio fue donde se presentó el avance más significativo a pesar de no tener la mayor por ejercicio obteniendo en el Pos-Test 78% sin embargo los estudiantes pudieron realizar los análisis de manera particular integrando sus vivencias a la toma de decisiones.

*“Conviene la opción con departamento, dada la rotación de activo aunque se sacrifica el rendimiento sobre el capital, mejorara a largo plazo el poseer un inmueble. Al contrario del caso sin departamento que solo acumula razón de circulante”*

Humberto Escobar – Séptimo Semestre 22 años

*“Yo elegiría, sin departamento ya que se produce más que con departamento, debido a que tendríamos un pasivo fijo permanente y sin departamento tendríamos rentabilidad o activo circulante”*

Fernando Hernández – Quinto Semestre 23 años

## CONCLUSIONES

Se generó una estrategia didáctica que apoye al docente a desarrollar las capacidades de análisis de los estudiantes en los conceptos de razones financieras, mediante el soporte de una aplicación interactiva en lenguaje de programación llamado JAVA. En conclusión, el diseño de la estrategia resultó positivo, con apoyo de la aplicación interactiva (RAZÓN), se mostró un aumento en el conocimiento de los estudiantes sobre los conceptos de razones financieras, desde la identificación de conceptos hasta el análisis de la información, siendo en esto último el mayor desarrollo de los estudiantes generando la capacidad de integrar sus conocimientos y perspectivas al análisis de información de los estados financieros.

## REFERENCIAS

- [1] UNAM (2018). DGAE. Plan de Estudios Informática Facultad De Estudios Superiores Cuautitlán. Recuperado en 2018 de: <http://cuautitlan.dgae.unam.mx/>
- [2] Víctor García Padilla. (2014). Introducción a las Finanzas. México: Patria.
- [3] Saturnino de la Torre. (2010). Estrategias didácticas en el aula. Buscando la calidad y la innovación. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- [4] Marzano, R. J. (2001). Designing a new taxonomy of educational objectives.

## LA ENSEÑANZA APRENDIZAJE DE LAS FINANZAS CORPORATIVAS A TRAVÉS DE LAS FINANZAS PERSONALES

\*Adolfo Eduardo Obaya-Valdivia<sup>1</sup>, Suemi Lima-Vargas<sup>2</sup>, Karla Samantha Martínez-Soriano<sup>2</sup>,  
Álvaro Enrique Lima-Vargas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>2</sup>Plantel Satélite, Universidad Mexicana

[obaya@unam.mx](mailto:obaya@unam.mx), [alvarolima60@yahoo.com](mailto:alvarolima60@yahoo.com)

### RESUMEN

El objetivo fundamental de las instituciones educativas, es preparar el capital humano, para las carreras con poco contacto con conceptos administrativos, generar aprendizaje significativo en estos temas es fundamental para el desarrollo del capital humano. En este trabajo se diseñaron diversas dinámicas para el tema de Mercado de Deuda; crucigrama, trivia y además se aplicó la competencia en el aprendizaje colaborativo para que los alumnos logren un aprendizaje significativo en los temas de Valuación de acciones, tipos de acciones. Con una evaluación general sobre los conocimientos del 76%, se concluye que la estrategia logra su objetivo al motivar la participación del estudiante al mismo tiempo que mejora el proceso de enseñanza aprendizaje.

**PALABRAS CLAVE:** Aprendizaje Colaborativo, Estrategia Didáctica, Fundamentos de Finanzas, Mercado de Deuda

### ANTECEDENTES

Una de las metas de los países es generar crecimiento económico, con el objetivo de mejorar la economía del país y con ello disminuir los problemas sociales y la pobreza, sin embargo, para lograr el crecimiento económico, el capital humano es fundamental, por lo cual el conocimiento y las aptitudes de los trabajadores es fundamental en el desarrollo y crecimiento económico. Así mismo es necesario utilizar el capital humano de manera eficiente, con mejores empleos y mejores condiciones para el desarrollo de nuevas empresas [1,2]

Para el desarrollo adecuado de cualquier economía es necesario el desarrollo de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) siendo estas el motor de la economía, en México el 95% de las empre-

sas son estas unidades, las cuales generan el 50% del Producto Interno Bruto (PIB). [1,2]

Por lo cual, el objetivo fundamental de las instituciones educativas, es preparar el capital humano con la finalidad de generar desarrollo económico, desde esa perspectiva, las instituciones educativas han modificado sus planes de estudio para integrar conceptos que complementen los conocimientos, debido a estas necesidades, las universidades han modificado y desarrollado sus planes de estudio integrando conceptos administrativos, mayormente (Finanzas, Mercadotecnia, Administración). [3]

Actualmente en la FESC, se cuenta con 17 carreras de las cuales, 17 cuentan con aspectos administrativos relacionados con las áreas fundamentales de la administración (Finanzas, Mercadotecnia, Administración). [4]

**Tabla 1. Estructura de Materias del Área de Ciencias Sociales (Económico Administrativas) en las carreras de las áreas Físico-Matemáticas, Biológicas-Salud y Humanidades**

<i>Area</i>	<i>Carrera</i>	<i>Conceptos Administrativos</i>	<i>Representativa</i>
<b>Ciencias Biológicas Químicas y Salud</b>	<i>Química</i>	<i>SI</i>	<i>Economía Aplicada</i>
	<i>Química Industrial</i>	<i>SI</i>	<i>Contabilidad y Costos</i>
	<i>Químico Farmacéutico</i>	<i>SI</i>	<i>Economía</i>
	<i>Bioquímica</i>	<i>SI</i>	<i>Economía Aplicada</i>
	<i>Farmacia</i>	<i>SI</i>	<i>Economía Aplicada</i>
	<i>Alimentos</i>	<i>SI</i>	<i>Economía Aplicada</i>
	<i>Veterinaria</i>	<i>SI</i>	<i>Análisis de Factibilidad Económica</i>
<b>Ciencias Físico Matemáticas</b>	<i>Ing. Mecánica</i>	<i>SI</i>	<i>Costo y Evaluación Económica</i>
	<i>Ing. Química</i>	<i>SI</i>	<i>Evaluación de Proyectos</i>
	<i>Tecnología</i>	<i>SI</i>	<i>Administración de Proyectos</i>
	<i>Ing. Industrial</i>	<i>SI</i>	<i>Técnicas de Evaluación Económica</i>
	<i>Ing. Sistemas</i>	<i>SI</i>	<i>Aspectos básicos en el desarrollo empresarial</i>
<b>Humanidades</b>	<i>Comunicación</i>	<i>SI</i>	<i>Economía para Comunicación</i>

Sin embargo, a pesar de la modificación de los planes de estudio, en este tipo de carreras el contacto con conceptos administrativos es limitado por lo cual el generar aprendizaje significativo es fundamental para el desarrollo del capital humano [5].

Sin embargo para estudiantes de otras áreas o carreras no afines el interés por estos conceptos es limitado en la mayoría de los casos por lo cual el proceso de aprendizaje se ve sesgado por la falta de motivación.

En este tipo de situaciones las estrategias de enseñanza-aprendizaje aplicadas por los docentes no solo deben de cumplir la función de mejorar los conocimientos del alumno, sino deben tomar un nuevo rol como estrategias que motiven la participación de los estudiantes.

Por todo lo anterior es necesario desarrollar estrategias didácticas para que los estudiantes provenientes de carreras en su mayoría prácticas, se motiven y desarrollen el aprendizaje de conceptos 100% teóricos.

## OBJETIVO

Diseñar una estrategia docente que ayude a motivar a los estudiantes y generar participación en los temas de finanzas corporativas durante el proceso de enseñanza aprendizaje

## APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA

Este trabajo se diseñaron diversas dinámicas para el tema de Mercado de Deuda; crucigrama, trivia y aplicar la competencia en el aprendizaje colaborativo para que los alumnos logren un aprendizaje significativo en los temas de Valuación de acciones, tipos de acciones.

Se desarrolló en la Universidad Mexicana, Plantel Satélite, en la carrera de turismo, en la asignatura de Finanzas de 5° semestre, cabe mencionar que este es su primer y ultimo contacto con las finanzas. La aplicación de la estrategia se desarrollo en 5 fases

### - Fase 1.

En esta fase se presento el tema de valuación de acciones mediante en sus aspectos teóricos; definición básicas de mercado de deuda, instrumentos financieros, tipos de acciones, características de las acciones, instituciones publicas, instituciones privadas, métodos de valuación.

### - Fase 2.

En esta fase se presento la formula básica para la valuación de acciones, sus elementos, su forma de despejarla, así como 3 caso para las diversas formas de la valuar las acciones. Los ejercicios se resolvieron de manera individual por los estudiantes únicamente con la formula, finalmente se presento de manera grupal la respuesta correcta.

### - Fase 3.

En esta fase se proporciono de manera individual un crucigrama con 7 reactivos los cuales corresponden a las definiciones básicas de mercado de deuda, así como un tiempo de 30 segundos por reactivo para terminar el crucigrama, al finalizar el tiempo se procedió a resolverlo de manera grupal, dando un premio en forma de dulce a los estudiantes que contestaran los reactivos de manera correcta.

#### - Fase 4.

En esta fase se presentó una trivía de opción múltiple mediante el uso de una pantalla, con aspectos enfocados en los elementos y características de las instituciones y los tipos de productos que ofrecen al mercado, pasando directamente a resolverla de manera grupal con el mismo proceso de estímulo.

#### - Fase 5.

En esta fase de manera individual se aplicó un examen diagnóstico del tema mercado de deuda, correspondiente a 2 ejercicios; relación de columnas (15 reactivos), ejercicio de valuación de acciones y un análisis sobre cual es la mejor acción a futuro (4 reactivos; 3 problemas, 1 análisis)

## RESULTADOS

Los resultados de la evaluación se presentaron en 3 aspectos.

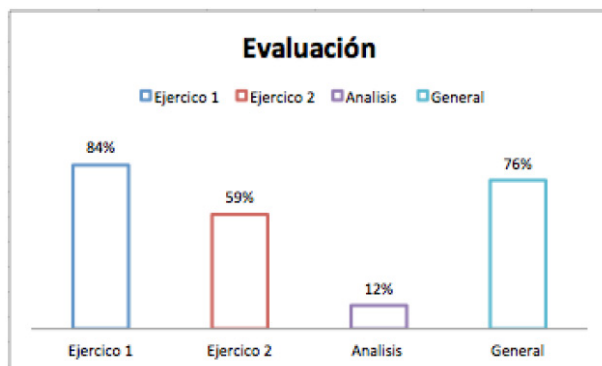


Figura 1. Evaluación Diagnóstica.

#### - Ejercicio 1.

En el ejercicio 1 los estudiantes tuvieron una evaluación del 84% los cuales corresponde al entendimiento de las definiciones teorías y la identificación de las características del mercado de deuda.

#### - Ejercicio 2.

En el ejercicio 2 la valuación de las acciones los estudiantes tuvieron un evaluación de 59% lo cual es 25% menor a lo obtenido en el ejercicio 1.

#### - Análisis.

En el ejercicio 2 evaluación de la valuación los estudiantes tuvieron un 12% de resultado de manera global.

#### - General

De manera global los estudiantes tuvieron un ponderación media del 76%.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se diseñó una estrategia docente que ayude a motivar a los estudiantes y generar participación en los temas de finanzas corporativas durante el proceso de enseñanza aprendizaje.

La estrategia tuvo mejores resultados la enseñanza aprendizaje de los conceptos teóricos, seguido por la práctica y finalizando con el análisis.

Finalmente, se concluye que la estrategia logra su objetivo el cual es motivar la participación del estudiante al mismo tiempo que desarrolla el proceso de enseñanza aprendizaje, de los conceptos de mercado de deuda.

## REFERENCIAS

- [1] Morales, I. N. (2011). Las Pymes en México, entre la creación fallida y la destrucción creadora. *Economía Informa*. 366, 39-48.
- [2] Padilla, G. V. y Prada, M. A. (2014). *Introducción a las Finanzas*. México: Patria.
- [3] Rivero, M. N. (2005). Aprendizaje autodirigido y desempeño académico. *Tiempo de Educar*, 6(11):115-146
- [4] UNAM (2018). DGAE. Facultad De Estudios superiores Cuautitlán. Recuperado en 2018 de: <http://cuautitlan.dgae.unam.mx/>
- [5] De la Torre, S. (2010). *Estrategias didácticas en el aula. Buscando la calidad y la innovación*. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

## DESARROLLO DE MATERIAL DIGITAL COMO APOYO PARA EL APRENDIZAJE DEL TEMA DE EQUILIBRIO QUÍMICO EN MATERIAS DE LOS PRIMEROS SEMESTRES DE LICENCIATURAS DEL ÁREA QUÍMICA.

Julio César Botello Pozos\*<sup>1</sup>, Marina Lucia Morales Galicia<sup>1</sup>, Sonia Rincón Arce<sup>1</sup>, Elizabeth De la Torre Floreano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México,

[jbotello@comunidad.unam.mx](mailto:jbotello@comunidad.unam.mx)

### RESUMEN

Para el alumno de segundo semestre de licenciatura, periodo en que se imparte la materia de Laboratorio de Ciencia Básica II (LCB II), en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), el tema de equilibrio químico se le dificulta con frecuencia ya que se le enfrenta a comprender que las reacciones son reversibles, que no se llevan a cabo al 100% y a una serie de conceptos para él totalmente nuevos. En este trabajo, se desarrolla el tema de equilibrio químico, en un material de apoyo educativo por medio de presentaciones digitales; siendo un recurso que tiene como objetivo proveer al estudiante de una herramienta que le facilite la comprensión del tema. Dicho material se estructura con los conceptos teóricos básicos, empleando imágenes y ejemplos que le permitan entender y conocer tanto la importancia como aplicaciones del equilibrio químico en un lenguaje que permita la asimilación del tema.

### ANTECEDENTES

El Laboratorio de Ciencia Básica II (LCB II), impartido en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), es una asignatura de carácter teórico experimental en la que por medio de la experimentación desarrolla en el alumno las capacidades cognitivas, habilidades, destrezas y el trabajo cooperativo que en conjunto aportan a la construcción, en el estudiante, de una visión científica y metodológica. El trabajo se basa en la aplicación de los elementos del método científico experimental apoyados por la metodología de la investigación.

Para el alumno de segundo semestre de licenciatura, periodo en que se imparte la materia de LCB II, los temas del programa de estudios implican dificultades debido a los conceptos y a la abstracción que se requiere. Además, en general, se tiene una heterogeneidad en las bases teóricas debidas a la procedencia de diversos sistemas de bachillerato.

Como parte del programa de LCB II está el tema de equilibrio químico (abarcando prácticamente el 40%

del curso), siendo éste un tópico que se dificulta con frecuencia su comprensión a los alumnos ya que se les enfrenta a comprender que las reacciones son reversibles, que no se llevan a cabo al 100% y a una serie de conceptos para él totalmente nuevos.

Por otro lado, el estudiante suele enfrentarse a una diversidad de información que no siempre es de la calidad requerida o con el enfoque que necesita. Hoy en día el empleo de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) han incrementado significativamente las fuentes de consulta de tal manera que repercuten en la modernización del sistema educativo [1].

Investigaciones a nivel mundial han demostrado que las TIC pueden conducir a mejorar el aprendizaje del estudiante y los métodos de enseñanza [2]. Por ello es cada vez más necesario para los docentes conocer cuáles son las competencias del estudiante universitario y particularmente las competencias digitales, de manera que pueda emprender una alfabe-

tización digital acertada en sus acciones docentes con sus estudiantes [3]. Esto conlleva a que sea cada vez más necesario incursionar en el diseño de materiales y recursos que puedan ser consultados mediante el empleo de las TIC para estar acordes a las formas de allegamiento de información actuales.

### OBJETIVO(S)

Elaborar un recurso didáctico de apoyo en formato digital del tema de Equilibrio Químico, el cual servirá como material de apoyo para la materia de Laboratorio de Ciencia Básica II.

### PROCEDIMIENTO

Para la elaboración del material de apoyo se consideraron las siguientes etapas:

- i) Determinación de contenidos.
- ii) Resumen y concretización de la información.
- iii) Diseño y desarrollo del material educativo.

Para el diseño y elaboración de las presentaciones se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Presentaciones breves para facilitar la consulta.
- Empleo de un lenguaje sencillo, sin perder el rigor científico.
- Utilización de imágenes para ilustrar los conceptos y temas
- Consideración de hipervínculos
- Inclusión de ejercicios y ejemplos.

En todos los casos las presentaciones se disponen en formato pdf para facilitar la consulta por medios electrónicos.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La propuesta de implementar el material propuesto en este trabajo se fundamenta en posturas de construcción del aprendizaje, en donde el estudiante se considera como un participante activo en el proceso, que, en lo particular, a través de la consulta, de la revisión de información y realización de ejercicios comprenda y de significancia a los conocimientos adquiridos; vea la importancia y utilidad que estos tienen no solo en su desarrollo académico, sino en su futuro desarrollo profesional. Por otro lado, busca implicar el empleo de las TIC en el proceso tanto de enseñanza como de aprendizaje esto en concordancia a las nuevas tendencias educativas y a las formas de adquisición de información que tienen los estudiantes.

Con este propósito se elaboró un recurso didáctico en formato digital comprendiendo el tema de Equilibrio Químico, considerando los contenidos establecidos en el programa de la asignatura de Laboratorio de Ciencia Básica II. El tema se dividió en subtemas para facilitar la consulta de contenidos en particular (figura 1); la información compilada se fundamenta en referencias con el nivel académico acorde para estudiantes de licenciatura y en todos los casos se proporcionan las referencias empleadas.

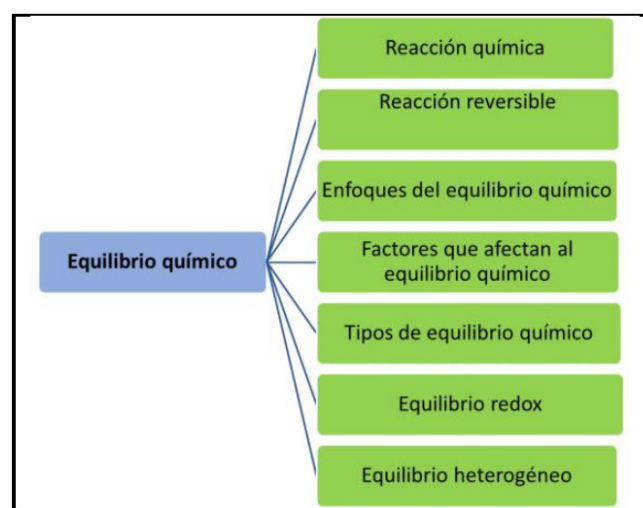


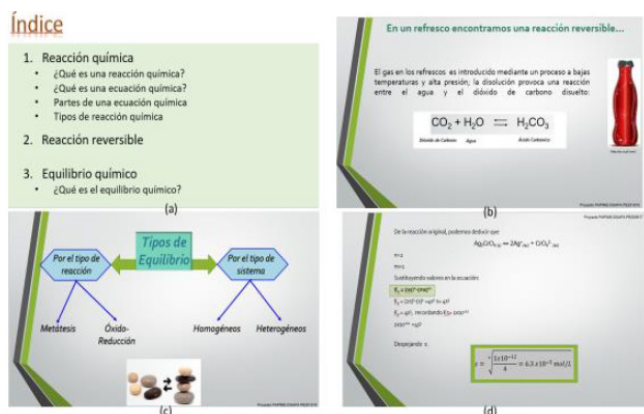
Figura 1. Estructura y subtemas del material desarrollado del tema de equilibrio químico

El recurso educativo se estructuró a manera de libro digital de tal forma que se diseñó un archivo a partir del cual el estudiante o docente que desee consultar el material puede acceder a los temas en particular con el propósito de facilitar la revisión.

Las presentaciones están provistas de imágenes y ejemplos para facilitar la comprensión del texto y para ejemplificar los conceptos y de esta forma el alumno de significancia a lo que se le presenta.

Cuando se hace referencia a un científico o en algunos conceptos se incluyen ligas de interés que vinculan al estudiante con referencias electrónicas para conocer detalles de la vida del personaje o bien profundizar en el tema; para poder acceder a ellas se requiere conexión a internet. La figura 2 muestra ejemplos de diapositivas elaboradas en el material de apoyo.





**Figura 2.** Imágenes que ejemplifican las dispositivos del material elaborado

Al realizarse el material en formato digital este podrá ser consultado empleando las TIC, se considera ponerlo a disposición de los docentes que imparten la asignatura de LCB II para que, en caso de ser considerado, puedan distribuirlo a sus alumnos ya sea por medios electrónicos de resguardo (memorias USB, SD, micro SD, CD, DVD, etc.) o bien a través de tecnologías de comunicación como correo electrónico, redes sociales, páginas electrónicas, blogs, etc. que el docente haya habilitado para su curso.

Adicional a lo anterior, el material se pondrá a disposición de alumnos y docentes por medio de un aula virtual alojada en h@bitat puma. El contar con este espacio institucional es con el propósito de promover el empleo de las herramientas que la UNAM pone a disposición de la comunidad académica y estudiantil, teniendo la certidumbre de que el material ahí depositado es avalado por académicos de la propia dependencia.

El recurso propuesto también puede ser empleado por los docentes, en caso de que así lo consideren conveniente, como apoyo para la impartición de su cátedra. Es importante resaltar que al ser un recurso que se puede revisar por medio de las TIC, permite que el alumno cuente con una fuente de consulta y apoyo para cualquier momento en que lo requiera y su revisión se puede realizar tantas veces como lo necesite, además de tener la portabilidad de la información para poder ser revisada en cualquier espacio ya sea mediante conexión a internet o bien de manera local (si realiza la descarga de los archivos a su dispositivo). El impacto que se considera tendrá este trabajo es que proporcionará a los estudiantes un recurso digital que le proveerá de información confiable y sintetiza-

da sobre el tema de equilibrio químico. En él se presentan los conceptos básicos y las ecuaciones necesarias que permitan la comprensión de los fundamentos y se utilizan ejemplos para facilitar la comprensión del tema. Todo lo anterior con el objetivo de favorecer la enseñanza, pero sobre todo, el aprendizaje del tema de equilibrio químico para estudiantes de los primeros semestres de las licenciaturas del área química.

## CONCLUSIONES

- Se desarrolla material en formato digital con información sintetizada para facilitar la comprensión del tema de equilibrio químico.
- El material permite conocer lo fundamental del tema de equilibrio químico.
- La estructura a manera de libro digital permite la fácil consulta de los temas.
- Al disponerse, los recursos elaborados, en formato digital permiten la consulta desde cualquier dispositivo electrónico.
- Se permite la portabilidad de la información y por tanto de su consulta.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con el apoyo del proyecto DGAPA PAPIME PE201818.

## REFERENCIAS

- [1] Martínez, F. (2010). Educación y Desarrollo Socio-Económico. Noviembre, 2017, de Dialnet Sitio web: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3395419.pdf>
- [2] Elmoglobal. (2015). Las TIC Aplicadas a la educación. Noviembre, 2017, de El semanario Sitio web: <https://elsemanario.com/noticias-tecnologia-nuevos-productos-videojuegos-innovacion/116408/las-tic-aplicadas-a-la-educacion/>
- [3] Giordan, M., Gois, J. (2009). Entornos virtuales de aprendizaje en química: una revisión de la literatura. *Educación química*. 20(3): 301-313. Recuperado de <http://www.educacionquimica.info/busqueda.php>
- [4] López, A y Tamayo, O. (2012). "Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales". *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*. 1(8): 145-166.

## PROPUESTA DE MATERIAL DIDÁCTICO: ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN INFRARROJA A NIVEL TEÓRICO DESDE EL ENFOQUE DE LA QUÍMICA COMPUTACIONAL.

Zuleyma Selene Ortega Gaytán<sup>1</sup>, René G. Escobedo González<sup>1</sup>, Judith García Arellanes<sup>1</sup>,  
María Inés Nicolás Vázquez\*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químicas, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, Estado de México 54714

[nicovain@yahoo.com.mx](mailto:nicovain@yahoo.com.mx)

### RESUMEN

La espectrofotometría de absorción infrarroja es una técnica de amplia utilidad en la industria química, razón por la cual se instruye en la formación de profesionistas del área química de la FES-C. Al no contar con la infraestructura suficiente para el manejo de un equipo de infrarrojo, se plantea complementar los fundamentos abordándolos de manera didáctica mediante el empleo de programas especializados de química, a través de un modelo de aprendizaje teórico-práctico. Este trabajo presenta un material didáctico cuya finalidad es contribuir al mejoramiento de la enseñanza-aprendizaje en el estudio de la espectrofotometría infrarroja. El material comprende once prácticas que aborda el estudio de este tema, desde el enfoque de la química computacional. Por lo tanto, de esta manera se apoya la práctica docente como el desarrollo de habilidades computacionales, comprensión del comportamiento molecular y apropiación de los fundamentos de la espectrofotometría infrarroja.

**PALABRAS CLAVE:** Espectrofotometría, Infrarrojo, Química Computacional, Enseñanza-Aprendizaje y Didáctico.

### ANTECEDENTES

La importancia de la espectrofotometría infrarroja radica en su apoyo a la determinación de grupos funcionales, de utilidad en el quehacer científico, docente y laboral.

Cuando se realiza la síntesis experimental de una molécula se presenta la problemática de darle identidad a la especie formada. Si bien es posible obtener su punto de fusión y solubilidad entre otras pruebas, no es viable profundizar a nivel licenciatura su caracterización, a menos, que se cuente con equipos de espectroscopía. No obstante, estos equipos no están disponibles para la comunidad estudiantil en general, lo que obliga a hacer uso de otras alternativas, que permitan conocer aspectos moleculares de la estructura química.

En este trabajo se propone el empleo de una metodología teórica que se apoya en el uso de un programa de química especializado, que permite de manera amigable e interactiva integrar los fundamentos de la técnica, comprender los espectros obtenidos a nivel laboratorio y correlacionarlos con los teóricos. Y de esta manera se estaría apoyando a la interpretación de los espectros de IR experimentales.

La información teórica no solo es un complemento a los datos experimentales, sino que también es auxiliar en la asignación específica de las funcionalidades químicas, posiciones de banda e intensidad de la absorción. Así como de forma animada permite visualizar los diferentes modos vibracionales; flexiones y alargamientos.

Se plantea el apoyo complementario a la enseñanza de las nociones de la absorción infrarroja, con una metodología teórica que emplea programas de química especializados puesto que, al instruir al alumno sobre los fundamentos de la espectrofotometría infrarroja, es difícil que éste observe los diferentes modos de vibración en un espectro obtenido a nivel experimental, puesto que solo observa bandas a las longitudes de onda donde se llevan a cabo esas vibraciones.

De acuerdo a lo anterior, se espera que el uso de este material refuerce el proceso enseñanza-aprendizaje, ya que las herramientas en que se apoya esta metodología son auxiliares al medio tradicional utilizado en contextos de enseñanza presencial y virtual.

Para verificar la funcionalidad de este trabajo se aplicó una encuesta a un grupo de alumnos. Mediante una serie de preguntas que el alumno contestó después de realizar una práctica a nivel teórico, para la determinación del espectro del infrarrojo de moléculas conocidas, se pudo concluir sobre la aplicabilidad de este recurso didáctico.

Para la encuesta fueron considerados varios aspectos como el semestre, carrera y si ya había cursado alguna materia relacionada con el tema para analizar la influencia en la asimilación del concepto.

## OBJETIVO

Contribuir al mejoramiento de la enseñanza-aprendizaje de la técnica de espectrofotometría de absorción infrarroja mediante la propuesta de un manual de prácticas a nivel teórico que permitan al alumno hacer uso de un programa químico especializado para determinar, visualizar e interpretar espectros de infrarrojo y sus modos vibracionales a nivel teórico.

## PARTE EXPERIMENTAL

Las herramientas para el diseño del material didáctico, descrito en el Diagrama 1, fueron dos programas de química especializados:

- GaussView05 (Programa de visualización). Herramienta gráfica que permite la elaboración de los archivos de entrada que se utilizarán en un programa afín para el desarrollo del respectivo cálculo. Este programa también permite la visualización de los archivos de salida como se muestra en la Figura 1, una vez que haya finalizado la determinación teórica

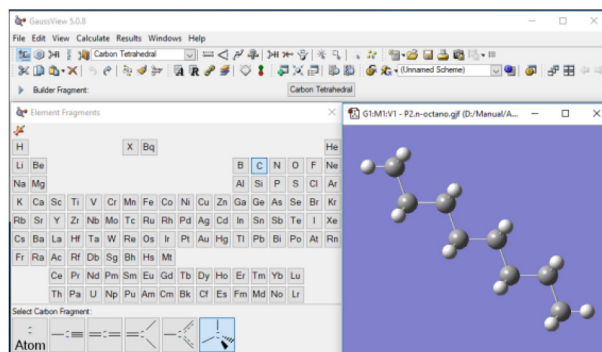


Figura 1. Visualizador Gaussview05.

- Gaussian09 (Programa de determinación de propiedades moleculares). Herramienta de cálculo, Figura 2, de función de onda que permitirá obtener propiedades como el espectro de infrarrojo, las frecuencias vibracionales y los modos de vibración.

```

5 alpha electrons      5 beta electrons
nuclear repulsion energy  9.1113699645 Hartrees.
NAtoms=  3 N nuclei=  3 Nblatq=  2 SFac=  1.070-00 Nbfreq=  00 NAORPM=
One-electron integrals computed using PRISM.
Nblasis=  13 Nbo=0=  7 NBF=  7  0  2  4
NBoles=  13 1.00D-06 NBFU=  7  0  2  4
Initial guess read from the read-write file.
B after 12=  0.000000  0.000000  0.000000
Rot=  1.000000  0.000000  0.000000 Ang=  0.00
Initial guess orbital symmetries
Occupied <A1> <A1> <B2> <A1> <B1>
Virtual <A1> <B2> <B2> <A1> <B1> <A1> <B2> <A1>
Requested convergence on RMS density matrix=1.00D-08 within 128 cycles.
Requested convergence on MAX density matrix=1.00D-06.
Requested convergence on energy=1.00D-06.
No special actions if energy rises.
Keep RI int: in memory in canonical form. NReq=823930.
SCF Done: E(GM) = -75.5853558345 A.U. after  8 cycles
Conv =  0.5176D-08
  
```

Figura 2. Programa Gaussian09

Además, se trabajó con una base de datos como: <https://cccbdb.nist.gov/vibscalejust.asp>, para obtener los denominados factores de escalamiento (aplicados para los cálculos en Gaussian09) que permitirán un acercamiento adecuado al valor experimental. Estos factores son para los métodos Hartree-Fock y Teoría de Funcionales de la Densidad. Así, también son considerados el conjunto de funciones base empleados, STO-3G, 3-21G, 6-31G, 6-31G(d,p) y 6-311G(d,p), como puede observarse en la Figura 3.

### Precomputed vibrational scaling factors

The following tables list the vibrational frequency scaling factor as determined from data in the CCCBDB. For the ass To change the scaling factors (which are used when the CCCBDB calculates the vibrational contribution the thermochemistry) Why scale vibrational frequencies? See section IV.C.4 Notes on vibrational scaling factors. Click on an entry for the list of molecules used to compute the vibrational scaling factor.

#### Methods with predefined basis sets

semi-empirical	AMI	0.954
	PM3	0.974
	PM6	1.062
molecular mechanics	AMBER	1.000
	DREIDING	0.936

#### Methods with standard basis sets

		STO-3G	3-21G	3-21G*	6-31G	6-31G*	6-31G**	6-31+G**	6-311G*
hartree fock	HF	0.817	0.906	0.903	0.903	0.899	0.903	0.904	0.904
	ROHF		0.907	0.909	0.895	0.907	0.855	0.856	0.856
density functional	LSDA	0.896	0.984	0.982	0.980	0.981	0.981	0.984	0.984
	BLYP	0.923	0.995	0.994	0.992	0.992	0.992	0.995	0.998
	B1B95	0.883	0.957	0.955	0.954	0.949	0.955	0.957	0.959
	B3LYP	0.892	0.965	0.962	0.962	0.960	0.961	0.964	0.966
	B3LYPultrafine	0.892	0.965	0.962	0.962	0.958	0.961	0.963	0.966
	B3PW91	0.885	0.961	0.959	0.958	0.957	0.958	0.960	0.963
	mPW1PW91	0.879	0.955	0.950	0.947	0.948	0.952	0.952	0.954
	M06-2X		0.959	0.947		0.947	0.950	0.952	
	PBEPBE	0.914	0.991	0.954	0.986	0.986	0.986	0.989	0.990

Figura 3. Factores de escalamiento.

De la misma base de datos antes mencionada, en una de sus secciones Figura 4, se obtuvieron los espectros IR a nivel experimental, los cuales se emplearon para su correlación con los valores teóricos.

Figura 4. Base de datos espectral para compuestos orgánicos SBDS.

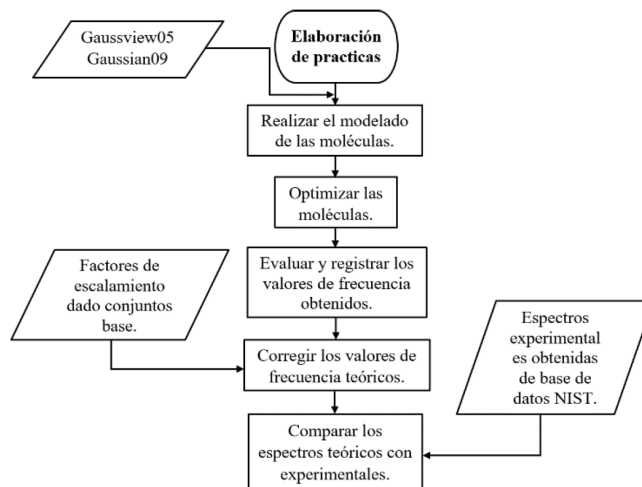


Diagrama 1. Elaboración de prácticas.

Una vez obtenida la información teórica para la realización de cada práctica, se prosiguió a la elaboración del material didáctico siguiendo la metodología explicada en el Diagrama 2. Ésta se encuentra basada en una estrategia didáctica de enseñanza, partiendo del encuadre que situaría el contexto de trabajo para el alumno.

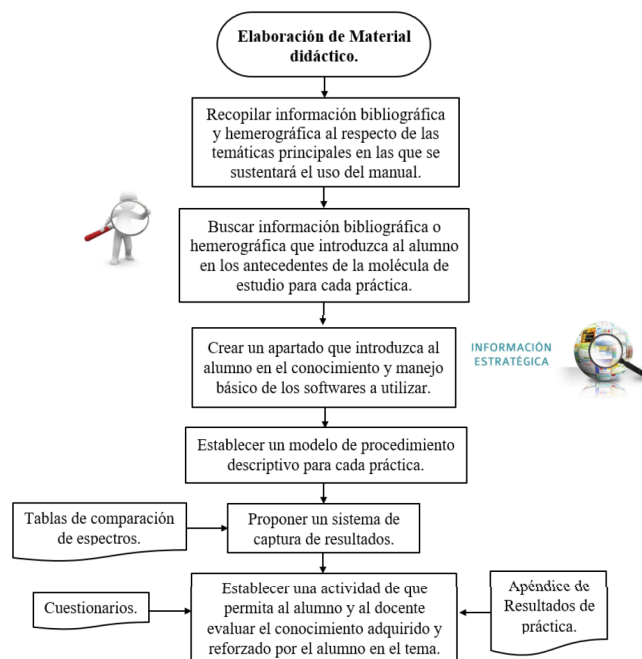


Diagrama 1. Elaboración del material didáctico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se elaboró una propuesta de material didáctico de prácticas a nivel teórico para el estudio de la espectrofotometría de absorción infrarroja desde el enfoque de la química computacional, como se muestra en la Figura 5, que consta de 11 prácticas en el cual se hace uso de programas especializados de química, Gausview05 y Gaussian09.



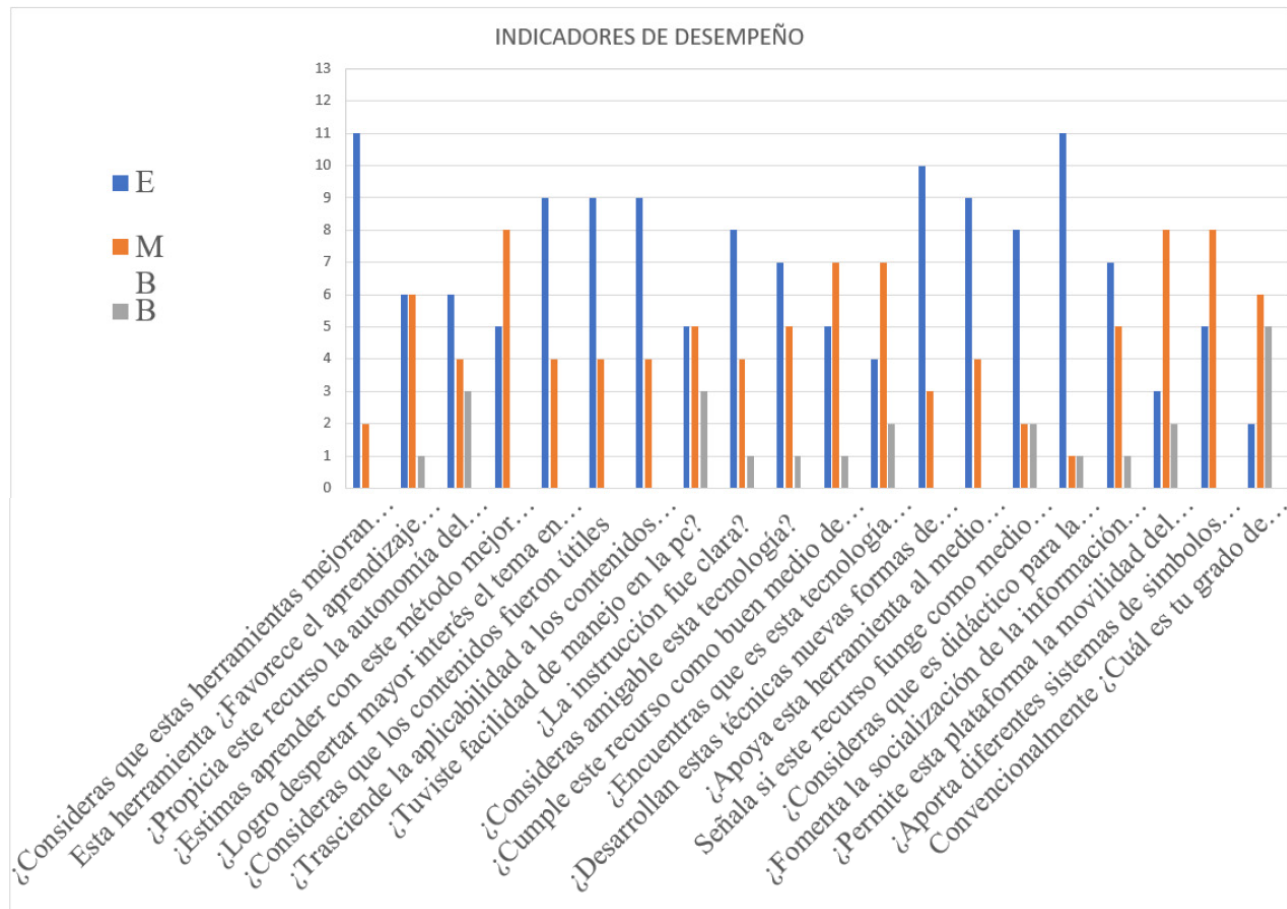
Figura 5. Propuesta del material didáctico.

El material propuesto consta de una sección de antecedentes que introduce al alumno a la comprensión de las temáticas principales en las que se fundamenta el material didáctico que son la espectrofotometría de infrarrojo y química computacional. De igual manera contiene una introducción al manejo de los programas especializados de química para familiarizar al alumno con la herramienta a utilizar.

La primera práctica de este recurso didáctico permitirá conocer el funcionamiento del programa de química, así como incorporar los elementos introductorios para el esbozo de las prácticas posteriores. A partir de la práctica dos, se consideran las moléculas sobre las cuales el alumno deberá trabajar en el curso; estudiando así cada una de las regiones que componen el espectro IR (medio). Para verificar la aplicabilidad del material didáctico propuesto para apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las asignaturas que consideren este tema, fue realizada una encuesta a un grupo de alumnos pertenecientes a las carreras de Farmacia y Química Industrial en diferentes semestres.

Lo anterior, con objeto de evaluar la efectividad del uso de herramientas computacionales como son los programas especializados de química y la metodología indicada en el manual para la determinación de los espectros.

Dicha evaluación se encuentra reportada gráficamente, Figura 6, en la cual se trabaja con estándares de evaluación de excelente a suficiente (a manera decreciente). Reportado de la siguiente manera: Excelente (azul), Muy Bueno (naranja), Bueno (gris) y Suficiente (amarillo). Encontrándose así, que el empleo de estas herramientas presenta una buena aceptación por los alumnos, catalogando como excelente gran parte de las opciones que ofrece en cuanto a recursos didácticos y practicidad del aprendizaje. Como parte de las observaciones realizadas tras la encuesta, fue posible establecer que existen variantes en cuanto a la asimilación de la información que se maneja respecto al tema de espectrofotometría de absorción infrarroja y estos dependen de la carrera y semestre que se encuentra cursando el alumnado al momento de introducirlo a la temática con el uso de las herramientas trabajadas.



**Figura 6.** Gráfico de indicadores de desempeño en herramientas de apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje.

## CONCLUSIONES

El material didáctico de espectrofotometría de absorción infrarroja a nivel teórico permite determinar, visualizar, interpretar y analizar los espectros Infrarrojo, así como los modos vibracionales y correlacionarlos con aquellos reportados a nivel experimental. Esto favorece el desarrollo de capacidades para detectar inconsistencias entre un contexto real y uno simulado.

El uso de las herramientas en que se apoya el manual y la estructura del mismo fomentan la socialización de la información científica. Con ello, el alumno desarrolla el manejo de habilidades cognoscitivas de orden superior como: comprensión, análisis y manipulación. A su vez aplica conocimientos adquiridos en sus asignaturas reforzando su aprendizaje e integra conocimientos propios.

La potencialidad de los recursos didácticos como lo es el uso de softwares de química especializados aumenta la funcionalidad pedagógica de los programas educativos a nivel Licenciatura y constituye un recurso formativo para desarrollar actividades de aprendizaje profesional.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo a Supercomputadora Mitzli-DGTIC-UNAM: LANCAD-UNAM-DGTIC-165. También se agradece a DGAPA-UNAM, por el apoyo al proyecto intitulado "Análisis de los modos vibracionales, a nivel teórico, para la integración de la enseñanza-aprendizaje de la espectroscopía infrarroja". PAPIIME-PE203417.

## REFERENCIAS

- [1] Gaussian 09, Revision A.02. Gaussian, Inc., Wallingford CT, 2009.
- [2] Programa GaussView 5.0.8: Visualizador. [www.gaussian.com](http://www.gaussian.com)
- [3] Lozada, M. C., Arteché, O. S. & Jaramillo, Y. L. (2013). Espectroscopia de infrarrojo: conceptos y problemas. Primera edición. México.
- [4] Silverstein, R. M., Webster, F.X.; Kiemle, D.J. (2005). Spectrometric Identification of Organic Compounds. Seventh ed. ed. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- [5] Base de Datos de Espectros de Compuestos Orgánicos: SDBS WEB: <http://sdbs.db.aist.go.jp> (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology) Recuperado el día 28/04/2018
- [6] NIST, Precomputed vibrational scaling factors. Computational Chemistry Comparison and Benchmark DataBase. © 2013 copyright by the U.S.

## JUEGOS DE MESA COMO ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA EN EL TEMA DE NOMENCLATURA DE HIDROCARBUROS, EN EL BACHILLERATO.

Marco Antonio Hernández-Hernández<sup>1</sup>, Yolanda Marina Vargas-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químicas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México

marcos\_280488@hotmail.com, ymvargas@unam.mx

### RESUMEN

Se presenta el diseño y aplicación de una secuencia didáctica lúdica, para el mejoramiento del proceso de la enseñanza y aprendizaje del tema de Nomenclatura de Hidrocarburos. Se diseñaron dos juegos de mesa denominados Memoraquim y Quimiotón. La estrategia fue aplicada a un grupo de alumnos denominado y grupo experimental (GE). Al inicio y al final de la secuencia didáctica se aplicaron instrumentos de evaluación: cuestionario diagnóstico (CD) y cuestionario final (CF) para confirmar los conocimientos y habilidades adquiridos durante la implementación de la secuencia y estos se compararon con los obtenidos con los de un grupo control (GC), al que se le impartió la clase de manera tradicional.

**PALABRAS CLAVE:** Nomenclatura, hidrocarburos, enseñanza lúdica, juegos de mesa.

### ANTECEDENTES

El nombre del cualquier objeto o material sirve para identificarlo y distinguirlo de los demás. Esto sucede también con los nombres de los compuestos químicos, pero, además, éste revela su composición elemental por medio de símbolos químicos, estos símbolos no solo revelan la composición molecular, sino la proporción en la que se encuentran combinados los átomos de los elementos que participan en su construcción [2]

Es importante mencionar que, los hidrocarburos son compuestos orgánicos que sólo contienen carbono e hidrógeno. Con base en su estructura, los hidrocarburos se dividen en dos clases principales: alifáticos y aromáticos. Esta clasificación data del siglo XIX, cuando la química orgánica estaba dedicada casi por completo al estudio de los materiales de fuentes naturales, y se acuñaron términos que reflejaban el origen de una sustancia. Dos fuentes eran las grasas y los aceites, y la palabra alifático se deriva de la palabra griega aleiphar que significa

“grasa”. Los hidrocarburos aromáticos, independientemente de su propio olor, por lo común se obtenían por el tratamiento químico de extractos de plantas de olor agradable [5].

Los hidrocarburos alifáticos incluyen tres grupos importantes: alcanos, alquenos y alquinos. Los alcanos son hidrocarburos en los que todos los enlaces son sencillos (enlaces sigma  $\sigma$ ), los alquenos contienen al menos un enlace doble carbono-carbono, y los alquinos contienen al menos un enlace triple carbono-carbono.

La nomenclatura es un lenguaje que contiene ciertas reglas que se utilizan para nombrar todas las sustancias químicas. La IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada por sus siglas en inglés) es la máxima autoridad en la materia y es la encargada de establecer las reglas correspondientes. La nomenclatura química se divide en dos grandes ramas: Nomenclatura de elementos y sustancias inorgánicas; se basa principalmente en el estudio de compuestos que no tienen carbono (C) en su estructura y nomen-



clatura de compuestos orgánicos; su estudio se basa principalmente en todos aquellos compuestos que tienen en su estructura el elemento carbono (C). [8] Gómez, Morales y Reyes (2008) identificaron algunas situaciones que dificultan el aprendizaje del tema nomenclatura química.

- > Confusión de las reglas, aprendizaje memorístico sin comprensión y, por tanto, a corto plazo.
- > Aislamiento de los conceptos estudiados en distintos capítulos.
- > El mito de la dificultad del estudio de la nomenclatura.
- > El tema impartido fue aislado del contexto y el alumno no pudo relacionarlo con su medio y sus intereses.
- > En secundaria y posiblemente a nivel medio superior, el alumno no comprende las razones de un lenguaje especial, puesto que no conoce la amplia gama de elementos y sustancias químicas, así como, la necesidad de ese lenguaje.

Por otro lado, el juego es una actividad de aprendizaje; si se dirige y orienta pedagógicamente contribuye a la activación del pensamiento y permite desarrollar las capacidades intelectuales de los alumnos. Piaget consideraba que el tipo de juego que jugamos va evolucionando y cambiando en función del desarrollo cognitivo de la persona, de este modo jugamos juegos más complejos conforme crecemos cognitivamente. Sin embargo, a medida que aumenta la edad y el nivel de enseñanza de los estudiantes, disminuye la utilización de juegos didácticos, por lo que su aplicación decrece de la enseñanza primaria hacia la universitaria [1]

Recientemente, se han publicado estrategias didácticas lúdicas para el aprendizaje de la nomenclatura, tanto de compuestos orgánicos, como inorgánicos, tal es el caso del "ChemKarta" juego de cartas para la enseñanza de grupos funcionales en la licenciatura (Knudtson, 2015); "ChemOkey" juego similar al Rumikub, cuyo objetivo es crear las fórmulas a partir de los cationes y aniones más comunes [3]; "GoChemistry" permite que los estudiantes compitan en formación de fórmulas químicas a partir de cartas que lleven los símbolos químicos de los elementos o iones [6]; "Octa-chem" modelo tridimensional que consiste en alinear tres módulos octagonales con el objetivo de formar compuestos químicos y nombrarlos [7]; "The Rainbow

Wheel and Rainbow Matrix" ambos juegos se basan en el concepto de combinar diversos cationes y aniones para formar compuestos químicos, y posteriormente nombrarlos; "Hypercard" es una presentación de cartas que se compone de preguntas de opción múltiple donde un nombre o fórmula que se da y la fórmula correcta o el nombre se elige de una lista de cinco posibles respuestas [9]; "Rainbow Wheel" este juego consta de dos ruedas; una rueda de cationes y la otra rueda de aniones. El objetivo es combinar los aniones y cationes para formar fórmulas y nombrar correctamente según la nomenclatura y "Bingo" basado del juego tradicional bingo favorece el aprendizaje de la nomenclatura de compuestos orgánicos el objetivo es tratar de ser el primero en lograr una fila de cinco, estos y otros autores muestran lo favorable que es el uso del juego en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la química. El presente trabajo muestra la ejecución que se siguió para el diseño e implementación de una secuencia didáctica que incluyó juegos de mesa como actividades para favorecer el proceso de enseñanza y aprendizaje del tema de nomenclatura de compuestos orgánicos en alumnos que cursan el nivel medio superior en México.

## OBJETIVO

Elaborar una secuencia didáctica que incluya juegos de mesa como una actividad para promover el proceso de enseñanza aprendizaje en el tema de nomenclatura de compuestos orgánicos (hidrocarburos) en el nivel bachillerato.

## METODOLOGÍA

Se diseñó una secuencia didáctica, que incluyó el uso de juegos de mesa como estrategia de enseñanza y aprendizaje. Comparativamente, se diseñó una secuencia didáctica que no incluía juegos de mesa, para determinar el impacto de esta herramienta en el proceso de enseñanza aprendizaje. Para evaluar el alcance de la enseñanza y el aprendizaje se diseñó un examen diagnóstico, identificando así las principales concepciones alternativas de los alumnos, el grado de conocimientos respecto al tema de nomenclatura de hidrocarburos. Las secuencias didácticas se diseñaron tomando en cuenta los siguientes aspectos:

1. Identificación de conocimientos previos: mediante una prueba escrita de opción múltiple se identificó los conocimientos previos. Anexo A
  2. Integración de equipos: se utilizó una dinámica para la formación e integración de equipos.
  3. Presentación "Nomenclatura de Hidrocarburos" en el grupo control la presentación la realizó el profesor, mientras que en grupo experimental la presentación la realizaron los alumnos.
  4. Implementación del juego memorama sólo en el grupo experimental, el alumno recortó, clasificó, pegó y nombró los hidrocarburos: alcanos, alquenos y alquinos.
  5. Resolución de un crucigrama de aplicaciones de hidrocarburos.
  6. Elaboración de una tabla periódica que fue utilizada como tablero para el juego quimiotón.
- Con el objetivo de comparar los conocimientos previos y posteriores a la intervención de las secuencias didácticas se diseñó un examen final para evaluar las habilidades y conocimientos adquiridos. Anexo B



Figura 1. Juego de mesa Quimiotón

## REGLAS DEL JUEGO

Se coloca una tabla periódica (tablero) en la mesa y cada jugador toma una ficha de un color, exceptuando la negra, la cual representa "La Ignorancia". Por turnos se tiran dos dados, se toma una tarjeta y se lee la pregunta correspondiente y responde, pero si en la tarjeta se le solicita modelar hidrocarburos tendrá un tiempo para re-

presentarlo, se le proporciona el material (bolas de unicel de dos colores el azul representa al hidrogeno y el negro al carbono). Cada tarjeta corresponde a un tema. Los principales temas son: nomenclatura de hidrocarburos; alcanos, alquenos y alquinos. Si el jugador en turno no conoce la respuesta, entonces los demás jugadores, en orden de juego pueden contestar la pregunta y avanzar el número de elementos que indique los dados. Si ninguno de ellos conoce la respuesta, entonces avanza la ficha negra, la Ignorancia.



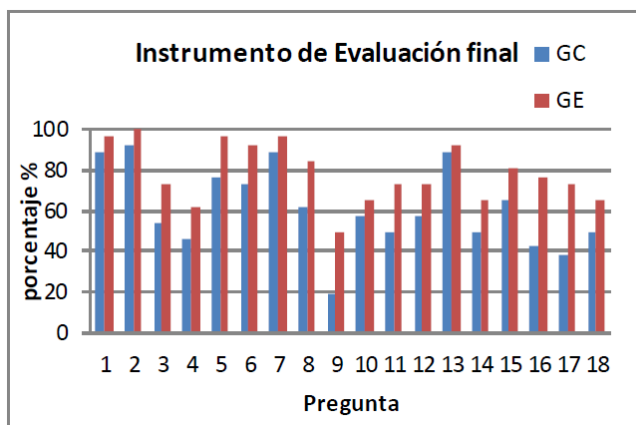
Figura 2. Desarrollo de la secuencia didáctica.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, en la figura 3 se muestran los porcentajes obtenidos en cada una de las 18 preguntas que conforman el instrumento de evaluación (examen final). Donde se puede apreciar que el porcentaje de alumnos que contestaron correctamente el instrumento, favorecen al GE.

En el histograma de la figura 1 se observa que de la pregunta 1 el GC el 88.46%, de los alumnos identificaron correctamente el alcano, de los demás hidrocarburos mientras que en el GE el porcentaje ascendió a 96.15%, ahí mismo en la pregunta 2 se observa que en el GC el 92.32%, de los alumnos relacionaron correctamente la fórmula del hexano, este porcentaje es superado por el GE donde 100%, de los alumnos identificó correctamente.

En la pregunta 3 se observa que en el GC 53.85 %, de los alumnos nombró el compuesto correctamente, mientras que en el GE el porcentaje aumentó a 73.08 %, en la pregunta 4 se proporcionó la fórmula y el alumno nombro el compuesto, el GE se ve favorecido debido a que el 61.54%, de alumnos nombraron correctamente al hidrocarburo, a diferencia del GC donde solo el 46.15%, de los alumnos respondieron satisfactoriamente. La pregunta número 5 muestra la estructura de un alcano y se le solicita al alumno nombrar el hidrocarburo, se puede observar que en el GE el 96.15%, de alumnos nombró correctamente el alcano a diferencia del GC, éste disminuyó a 76.92%. En la pregunta 6 se le solicito al alumno dibujar un alcano, se aprecia que el GE tiene un mayor porcentaje de respuestas correctas 92.31%, en comparación del GC, 73.08%.



**Figura 3.** Porcentaje de respuestas correctas del instrumento de evaluación.

De la pregunta 7 se percibe que en el GC el 88.46%, de los alumnos reconoce el alqueno, de los demás hidrocarburos y en el GE el 96.15%, de los alumnos identificó la estructura de un alqueno. De la pregunta 8 se observa que en el GC el 61.64%, de los alumnos relacionan la estructura y el nombre del alqueno. Por otro lado, en la pregunta 9 se observa que en el GC el 19.23%, identificó adecuadamente el nombre del alqueno, mientras que en el GE el porcentaje aumentó a 50 %. La pregunta 10 arroja que el 65%, de los alumnos del GE nombraron adecuadamente la estructura del alqueno, mientras que en el GC solo el 57.69%, nombró el compuesto. La pregunta 11, cuestiona el nombre de un alqueno, 73.08%, de los alumnos

del GE relacionó correctamente la estructura con su nombre mientras que el GC sólo el 50%, lo logró.

En cuanto a la pregunta 12 "dibuja la estructura" los resultados obtenidos muestran que el GE tiene un mayor porcentaje de alumnos 73.07%, que desarrolló correctamente la estructura del compuesto, mientras que el GC solo el 57.69%, de los alumnos dibujo la estructura. Respecto a la pregunta 13 se observa que en el GC el 88.46%, identificó el alquino de los demás hidrocarburos y en el GE este porcentaje se extiende a 92.3%. En la pregunta 14 se les solicito nombrar un alquino en el GC solo 46.15%, nombró adecuadamente el alquino, mientras que en el GE el porcentaje aumentó a 61.5 %. En la pregunta 15 se les solicita dar el nombre de un alquino, en el GC sólo 69.23%, relacionó adecuadamente la estructura del hidrocarburo y su nombre, mientras que en el GE el porcentaje aumentó a 84.6 %, La pregunta 16 muestran que el 76.92%, de los alumnos del GE nombró correctamente el alquino asignado, por otro lado, sólo el 42.31%, de alumnos, se ve favorecido en el GC. Al solicitarle a los estudiantes nombrar un alquino en la pregunta 17 el 73.08%, del GE nombró correctamente al hidrocarburo, y solo 38.46%, de los alumnos del GC lo nombraron. En cuanto a la pregunta "dibuja la estructura" los resultados obtenidos muestran que el GE tiene un mayor porcentaje de alumnos 65.38%, que desarrolló correctamente la estructura del compuesto, mientras que en el GC sólo el 50 %, de los alumnos dibujo la estructura correctamente.

Adicionalmente, se realizó el análisis estadístico para valorar la intervención de la secuencia didáctica. A partir de la siguiente pregunta:

¿Existe estadísticamente diferencia significativa en el proceso de enseñanza aprendizaje al incluir juegos de mesa en una secuencia didáctica?

Se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis alternativa H1 = Existe una diferencia significativa en la secuencia didáctica donde se implementaron juegos de mesa como actividad para favorecer el proceso de enseñanza y aprendizaje y la secuencia didáctica donde no se implementó este tipo de actividades con un nivel de confianza del 95%.

Hipótesis nula H0 = No existe una diferencia

significativa en la secuencia didáctica donde se implementaron juegos de mesa como actividad para favorecer el proceso de enseñanza aprendizaje y la secuencia didáctica donde no se implementó este tipo de actividades con un nivel de confianza del 95%.

En la tabla 1, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de T student aplicada a los resultados del examen diagnóstico y examen final. El valor de P es 0.0032 este valor es menor a el valor de significancia 0.05 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que dice: "existe una diferencia significativa en la secuencia didáctica donde se implementaron juegos de mesa como actividad para favorecer el proceso de enseñanza y aprendizaje y la secuencia didáctica donde no se implementó este tipo de actividades con un nivel de confianza del 95%".

**Tabla 1.** Datos estadísticos del grupo control y grupo experimental.

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
<b>Media</b>	6.11111111	7.86324786
<b>Varianza</b>	5.67901235	2.65906933
<b>Observaciones</b>	26	26
<b>Varianza agrupada</b>	4.16904084	
<b>Diferencia hipotética de las medias</b>	0	
<b>Grados de libertad</b>	50	
<b>Estadístico t</b>	3.0940092	
<b>P(T&lt;=t) una cola</b>	0.00161478	
<b>Valor crítico de t (una cola)</b>	1.67590503	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	0.00322957	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	2.00855907	

Además, analizando la tabla 1 se observa que la media de nuestras variables del grupo donde se incluyeron juegos de mesa logró una media de 7.8, superior a la del grupo control que obtuvo una media de 6.1. Ahí mismo se aprecia que la

varianza en el grupo control es mayor que en la del grupo experimental, esto quiere decir, que en el grupo control tenemos calificaciones muy separadas de la media y en el grupo experimental esto disminuye. Por lo que se puede decir que el uso de juegos favoreció en el aprendizaje de nomenclatura de hidrocarburos.

## CONCLUSIONES

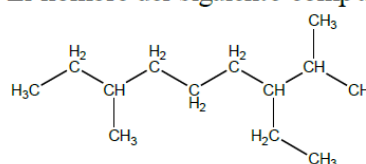
Se diseñaron dos secuencias didácticas una para el GC y otra para el GE. A este último se le incluyeron juegos como: Memorama y Quimiotón, como actividades para favorecer el proceso de enseñanza y aprendizaje y se comparó con el GC al cual no se incluían estas actividades en la secuencia didáctica y así conocer el impacto de los juegos en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Finalmente, para conocer el impacto de los conocimientos y habilidades se diseñó y aplicó un instrumento de evaluación el cual fue aplicado a ambos grupos, al término de la secuencia didáctica. De acuerdo con los resultados obtenidos estadísticamente se aceptó que existe una diferencia significativa en la secuencia didáctica en donde se implementaron juegos de mesa, favoreciendo así el proceso de enseñanza y aprendizaje.

## ANEXO A

### EVALUACIÓN DIAGNÓSTICA

- ( ) La estructura  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ , corresponde al compuesto:
  - alcano
  - alqueno
  - alquino
  - alcohol
- Dibuja la estructura del siguiente compuesto orgánico: pentano
- El nombre del siguiente compuesto es;



4. Como se le denomina a los siguientes alcanos lineales.



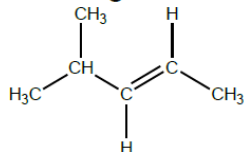
5. ( ) La estructura  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}_2$ , corresponde al compuesto:

- a) alcano  
b) alqueno  
c) alquino  
d) alcohol

6. ( ) La fórmula del eteno es:

- a)  ${}^3\text{HC}-\text{CH}_3$   
b)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$   
c)  $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{CH}$   
d)  $\text{CH}_3-\text{C}=\text{CH}_2$

7. ( ) El nombre del siguiente compuesto es;



- a) 2-metil-3-penteno  
b) 4-metil-2-penteno  
c) 4-metil-2-pentano  
d) 2-metil-3-pentano

8. Dibuja la estructura del siguiente compuesto orgánico: 2-penteno

9. ( ) La estructura  $\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_3$  corresponde al compuesto:

- a) alcano  
b) alqueno  
c) alquino  
d) alcohol

10. ( ) La fórmula del propino es:

- a)  $\text{HC}-\text{CH}$   
b)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$   
c)  $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{CH}$   
d)  $\text{CH}_3-\text{C}=\text{CH}_2$

## ANEXO B

### EVALUACIÓN FINAL

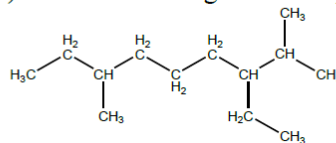
1. ( ) La estructura  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  corresponde al compuesto:

- a) alcano  
b) alqueno  
c) alquino  
d) alcohol

2. ( ) La fórmula del hexano es:

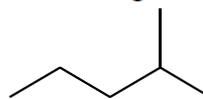
- a)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$   
b)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$   
c)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{CH}$   
d)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

3. ( ) El nombre del siguiente compuesto es;



- a) 7-etil-3,8-dimetil-nonano  
b) 3-etil-2,7-dimetil-noneno  
c) 3-etil-2,7-dimetil-nonano  
d) 7-etil-3,8-dimetil-nonino

4. El nombre del siguiente compuesto es;



5. El nombre del siguiente compuesto es;  
 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

6. Dibuja la estructura del siguiente compuesto orgánico: pentano

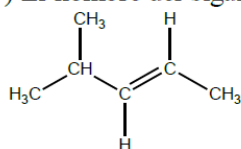
7. ( ) La estructura  $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  corresponde al compuesto:

- a) alcano  
b) alqueno  
c) alquino  
d) alcohol

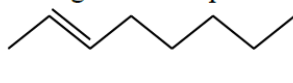
8. ( ) La fórmula del propeno es:

- a)  $\text{HC}-\text{CH}$   
b)  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$   
c)  $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{CH}$   
d)  $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$

9. ( ) El nombre del siguiente compuesto es;



- a) 2-metil-3-penteno  
 b) 4-metil-2-penteno  
 c) 4-metil-2-pentano  
 d) 2-metil-3-pentano
10. El nombre del siguiente compuesto es;

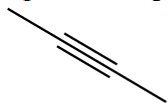


11. El nombre del siguiente compuesto es;  
 $\text{CH}_3\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH}_3$

12. Dibuja la estructura del siguiente compuesto es: 2-hexeno

13. ( ) La estructura  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{CH}_2\text{-C}\equiv\text{CH}$ , corresponde al compuesto:

- a) alcano  
 b) alqueno  
 c) alquino  
 d) alcohol
14. ( ) La fórmula del 2-pentino es:
- a)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-C}\equiv\text{C-CH}_3$   
 b)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_3$   
 c)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-C}\equiv\text{CH}$   
 d)  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
15. ( ) El nombre del siguiente compuesto es;



- a) 2-bueno  
 b) 1-butano  
 c) 1-butano  
 d) 2-butino
16. El nombre del siguiente compuesto es;



17. El nombre del siguiente compuesto es;  
 $\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{C-CH}_2\text{-CH}_3$

18. Dibuja la estructura del siguiente compuesto orgánico: 3-octino

## REFERENCIAS

- [1] Barrón, L. (2005). El juego como recurso didáctico en la educación ambiental dentro de la Organización No Gubernamental "Odisea" (Tesis de licenciatura). México: UNAM.
- [2] Franco Arzate, L. Á. (2012). Aplicación de la Teoría de las Inteligencias Múltiples como refuerzo al aprendizaje de la nomenclatura Química. México: UNAM.
- [3] Kavak, N. (2012). ChemOkey: A Game To Reinforce Nomenclature. *Journal of Chemical Education*. 89(8):1047-1049.
- [4] Knudtson, C. A. (2015). ChemKarta: A Card Game for Teaching Functional Groups in Undergraduate Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 92(9):1514-1517.
- [5] McMurry, J. (2008). *Química Orgánica*. México: Thomson.
- [6] Morris, T. A. (2011). Go Chemistry: A Card Game To Help Students Learn. *Journal of Chemical Education*. 88(10):1397-1399.
- [7] Palacios, J. (2006). Octachem Model: Organic Chemistry Nomenclature Companion. *Journal of Chemical Education*. 83(6):890-892.
- [8] Phillips, J. S. (2012). *Química Conceptos y aplicaciones*. México: Mc Graw Hill.
- [9] Shaw, D. B. (1994). *Organic Nomenclature*. *Journal of Chemical Education*. 80(10):1223

## CLAVE CRETIB: ACTUALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS A PARTIR DE LAS NORMAS MEXICANAS Y NORMAS OFICIALES MEXICANAS VIGENTES.

Abraham Ulises Pérez Rubio, José Arturo Martín Tereso, Alma Luisa Revilla Vázquez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM. Laboratorio de Desarrollo de Métodos Analíticos  
[qi.ulisesperez@gmail.com](mailto:qi.ulisesperez@gmail.com), [almarv@unam.mx](mailto:almarv@unam.mx)

### RESUMEN

La propuesta de este trabajo es la actualización de cinco prácticas relacionadas con la asignatura de "Tratamiento y disposición de residuos peligrosos", para la carrera de química industrial. El propósito es apoyar a los estudiantes y docentes a realizar de manera adecuada y sencilla los procedimientos relacionados con la identificación, clasificación, manejo, tratamiento y disminución de residuos, basándose en los criterios plasmados en las Normas Mexicanas vigentes, (NMX-AA-027-SCFI-2006, NMX-AA-001-SCFI-2008, PROY- NMX-AA-043-SCFI-2006, PROY-NMX-AA-037-SCFI-2006, PROY-NMX-AA-048-SCFI-2006).

**PALABRAS CLAVE :** Residuos peligrosos, Clave CRETIB, Normas mexicanas.

### ANTECEDENTES

Este trabajo presenta una propuesta de cinco prácticas relacionadas con diferentes Normas Mexicanas [1-5], cada una para la determinación de un parámetro relacionado con la clave CRETIB. Dicha clave que permite saber los riesgos asociados a los residuos peligrosos (químicos o biológicos) con relación a sus propiedades fisicoquímicas.

Las normas mexicanas son un apoyo para la realización de procedimientos necesarios en el actuar de empresas, instituciones y centros públicos y privados, sin embargo, no se revisan y comprenden fácilmente, de hecho algunas veces no son muy específicas con todos los pasos a seguir, por ello, el desarrollo de estas prácticas pretende ayudar a los estudiantes de la asignatura de Tratamiento y Disposición de Residuos Peligrosos, a realizar adecuadamente las pruebas relacionadas a la clave CRETIB, a fin de que puedan llevarlas a cabo en tiempo y forma además de acotarse a los materiales con los que se cuenta en la Facultad. Las prácticas tienen un aporte importante para el alumno ya que proporcionan enseñanza teórico-práctica, pretendiendo optimizar tiempo y esfuerzo en cuanto a la com-

prensión de las normas, facilitando así la realización experimental.

Dichas prácticas serán parte de un manual, estructurado de tal manera que se determine la peligrosidad de los residuos que se generan durante la práctica experimental en las áreas docentes a fin de identificar características de los residuos para evaluar y aportar estrategias para su adecuado manejo directamente en las áreas.

### OBJETIVO(S)

Apoyar a la comunidad describiendo detalladamente los procedimientos relacionados a las Normas Mexicanas que permiten la determinación de la clave CRETIB de los residuos en estudio.

Disminuir tiempo y esfuerzo en la comprensión de los procedimientos de las normas y llevarlos a cabo experimentalmente en base a condiciones de instalaciones, materiales y equipos del laboratorio a fin de garantizar su realización en el tiempo asignado al laboratorio de la asignatura Tratamiento y Disposición de Residuos Peligrosos.

## PARTE EXPERIMENTAL

Las prácticas actualizadas fueron las siguientes:

**Práctica 1:** Determinación de pH. Se realizarán una serie de mediciones con ayuda de un potenciómetro y se hacen cálculos estadísticos de: Exactitud y precisión inicial del método; generación de valores para obtener una gráfica de control de exactitud y precisión; precisión y exactitud por medio de un Lote Analítico.

**Práctica 2:** Corrosividad al acero al carbón. Se observa la corrosividad de una solución en contacto con unos cupones de acero SAE 1020 que se sumergirán en la solución o residuo problema durante un tiempo determinado, para así poder analizar el efecto de la solución hacia el cupón de acero y determinar la corrosión.

**Práctica 3:** Método de prueba liberación de HCN. Se colocará una solución problema que contenga cianuros a un absorbedor, se adiciona una H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y se deja reposar por 90 minutos y después se realiza una titulación volumétrica para determinar la cantidad de cianuros.

**Práctica 4:** Determinación de punto de inflamación, Método de Cleveland, copa abierta. Se obtiene el punto de inflamación y de fuego en líquidos usando el aparato de copa abierta Cleveland, en el cual se analiza un aceite de cualquier procedencia colocándolo dentro del equipo de Cleveland, se aumenta la temperatura hasta obtener el punto de inflamación.

**Práctica 5:** Determinación de constituyentes tóxicos inorgánicos. Se determina por espectrofotometría de absorción atómica el contenido de diferentes elementos considerados tóxicos, los señalados en la normatividad son: Arsénico, Berilio, Cadmio, Cromo, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio, Vanadio, entre otros elementos de interés, siempre y cuando se cuente con la lámpara de cátodo hueco en el laboratorio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla 1. Clasificación de los residuos peligrosos [6]**

Corrosivo	
Estado	Propiedad
Líquido acuoso	pH ≤ 2.0 y pH ≥ 12.5.
Sólido (mezcla agua destilada)	pH ≤ 2.0 y pH ≥ 12.5.
Líquido no acuoso	Corroe el Acero al carbón (SAE 1020) velocidad 6.35mm/año a 55°C
Reactivo	
Estado	Propiedad
Líquido o Sólido (Después de ponerse en contacto con aire).	Se inflama en tiempo menor de 5 Min. Sin que exista fuente externa de ignición.
Líquido o Sólido (Después de ponerse en contacto con agua).	Reacción espontánea, genera gases inflamables ≥ 1 litro/kg residuo por hr.
Líquido o Sólido (Contacto con el aire)	Genera calor
Líquido, sólido o semisólido (Poseen en su constitución Cianuros o Sulfuros liberales).	Expuesto a condiciones ácidas genera gases ≥ 250 mg HCN/kg residuo o ≥ 500 mg HS /kg residuo
Explosividad	
Estado	Propiedad
Líquido, sólido y/o gas.	Capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento
Tóxico Ambiental	
Estado	Propiedad
Líquido o sólido.	El Extracto PECT (NOM-053-SEMARNAT-1993; NMX-AA-139-SCFI-2008) contiene cualquier de los constituyentes tóxicos mencionados en la NOM-052-SEMARNAT-2005
Inflamabilidad	
Estado	Propiedad
Líquido o mezcla de líquidos que contienen sólidos en suspensión	Tienen un punto de inflamación a 60.5 °C medido en copa cerrada quedando excluidas las soluciones acuosas que contengan un porcentaje de alcohol en volumen menor a 24%.



Sólido o Gas	Capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25 °C.
Gas	A una temperatura de 20 °C y una presión de 101.3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tienen un rango de inflamabilidad con aire cuando menos 12% sin importar el límite inferior de la inflamabilidad.
Gas Oxidante	Puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.
Biológico Infeccioso	
Estado	Propiedad
Líquido o sólido	De conformidad con lo que se establece en la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002.

Como se indicó en la tabla 1, la norma indica las especificaciones que deben tener los residuos para ser catalogados en base a su peligrosidad. Cabe mencionar que un residuo puede tener varias propiedades que lo hagan peligroso y de acuerdo con dichas características deberá de ser catalogado y si es posible, darle el tratamiento más adecuado antes de disponer de manera permanente del mismo. Para ello es importante identificar con el o los códigos adecuados el residuo (Tabla 2)

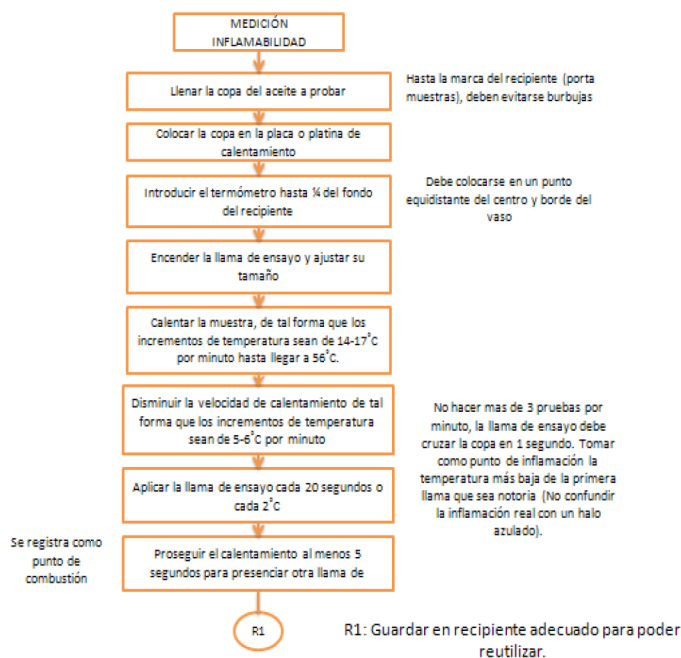
**Tabla 2. Código de Peligrosidad de los Residuos (CPR)**

Tipo	Código	Símbolo
Corrosivo	C	
Reactividad	R	
Explosividad	E	

<b>Toxicidad</b>	<b>T</b>	
<i>Ambiental</i>	Te	
<i>Aguda</i>	Th	
<i>Crónica</i>	Tt	
<b>Inflamabilidad</b>	<b>I</b>	
<b>Biológico-Infeccioso</b>	<b>B</b>	

Las prácticas fueron modificadas en relación con los materiales y equipos con los que cuenta el laboratorio de vía húmeda de la Nave 3000 y en algunos casos a los que se tienen en la FESC campo 1, como es el caso del espectrofotómetro de absorción atómica y la disponibilidad de las lámparas de cátodo hueco que emplea dicho equipo.

Se realizaron diagramas de flujo detallados de los procedimientos a realizarse en cada práctica para subsanar la falta de detalle en las normas mexicanas relacionadas.



**Figura 1.** Medición de inflamabilidad

Como se muestra en la figura 1, el diagrama de flujo indica el procedimiento a realizar para determinar la inflamabilidad de un residuo, además, indica los cuidados a tener y la disposición de los residuos generados por esta práctica.

## CONCLUSIONES

Las prácticas actualizadas se ajustaron a los procedimientos planteados en las normas establecidas y realizadas bajo las condiciones que se tienen en el laboratorio del plantel, ajustándose para cubrirse en el tiempo asignado al laboratorio de la asignatura, material, reactivos y equipos que se encuentran disponibles.

Los diagramas de flujo incluidos permiten agilizar y realizar de manera adecuada los procedimientos a fin de asegurar que se logre identificar la peligrosidad del residuo bajo estudio.

Este material ayuda a identificar y clasificar los residuos generados en la Facultad para aportar bases para su tratamiento, disminución y adecuado manejo cumpliendo los criterios plasmados en las Normas Mexicanas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Maestra Mercedes Montemayor por todo su trabajo, apoyo y confianza puesta en el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] NMX-AA-027-SCFI-2006 Residuos líquidos. Determinación de pH. Método de prueba.
- [2] NMX-AA-001-SCFI-2008. Residuos líquidos y/o soluciones acuosas. Corrosividad al acero al carbón.
- [3] PROY-NMX-AA-043-SCFI-2006. Determinación de reactividad.
- [4] PROY-NMX-AA-037-SCFI-2006. Determinación de inflamabilidad.
- [5] PROY-NMX-AA-048-SCFI-2006. Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica en productos de extracción de constituyentes tóxicos (pect).
- [6] NOM-052-SEMARNAT-2005

## VIDA ÚTIL DE UNA PREPARACIÓN EXTEMPORÁNEA DE ÁCIDO ACETIL SALICÍLICO ALMACENADA A 15°C

Esmeralda Gómez-Pérez<sup>1</sup>, Rafael Villalobos García<sup>2</sup>, Guadalupe Iveth Vargas-Rodríguez<sup>1</sup>, Adolfo Obaya<sup>1</sup>, Juan José Mendoza-Flores<sup>1</sup>, Yolanda Marina Vargas-Rodríguez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químicas

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería y Tecnología. Campo 1, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

ymvargas@unam.mx

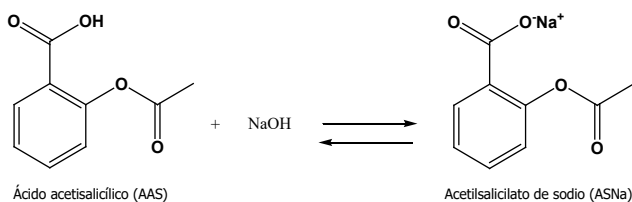
### RESUMEN

Con el objetivo de mejorar la enseñanza y aprendizaje del tema de efecto de temperatura en la rapidez de la reacción en la asignatura de Físicoquímica Farmacéutica, se presenta el experimento de degradación de ácido acetilsalicílico (AAS), aplicando el aprendizaje basado en problemas (ABP). Se simuló preparaciones extemporáneas de AAS, adicionando hidróxido de sodio para acelerar la reacción de hidrólisis del AAS y se siguió la cinética por medición del pH. El experimento se trabajó a 35°, 50° y 60°C respectivamente. Se obtuvieron las constantes cinéticas de rapidez a cada temperatura. Se utilizó la ecuación de Arrhenius y se obtuvo una línea recta con la que se determinó la constante de rapidez a 15°C, por extrapolación. Se calculó la vida de anaquel de la preparación extemporánea. Adicionalmente, se determinaron los parámetros de activación de la reacción de hidrólisis: energía de activación, factor de frecuencia, entalpía, entropía y energía de Gibbs.

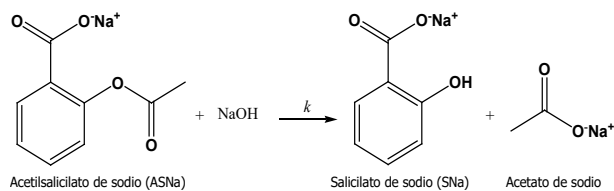
**PALABRAS CLAVE:** Vida útil, Ácido acetilsalicílico, ABP, Preparación extemporánea, Temperatura, rapidez de reacción, Arrhenius.

### ANTECEDENTES

Recientemente, presentamos un experimento de la cinética de hidrólisis básica de ácido acetilsalicílico (ASS), en donde al adicionar una cantidad equimolar de NaOH a una preparación extemporánea de AAS ocurre una reacción ácido base y al adicionar otra cantidad equimolar de NaOH a la preparación, se lleva a cabo la hidrólisis básica (Esquema 1) [7].



**Esquema 1.** Reacción de neutralización de ácido acetilsalicílico



**Esquema 2.** Reacción de hidrólisis básica del ácido acetilsalicílico

Por otro lado, se ha demostrado que, a pH mayores de 9, la hidrólisis de AAS ocurre en tiempos suficientemente cortos y es susceptible de llevarse a cabo en un laboratorio de enseñanza experimental en intervalos de temperatura entre 35°C y 60 °C [7]

Es importante mencionar que en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, se imparte la asignatura de Físicoquímica Farmacéutica, que es de carácter teórico experimental, con valor de

10 créditos. Se imparte a partir del 5° semestre en la licenciatura en Farmacia como asignatura obligatoria con 4 horas de laboratorio y 3 de teoría.

En este trabajo se presenta un experimento de laboratorio para Físicoquímica Farmacéutica, hidrólisis del AAS en medio básico a diferentes temperaturas, y se determina la fecha de vida útil de una preparación extemporánea de AAS, así como la determinación de los parámetros de activación de la reacción.

### OBJETIVO

Diseñar una actividad experimental para el laboratorio de Físicoquímica Farmacéutica de la carrera de Farmacia, mediante el aprendizaje basado en problemas (ABP), para promover aprendizajes significativos del tema de efecto de la temperatura sobre la rapidez de reacción.

### METODOLOGÍA:

El diseño de la actividad experimental se divide en tres partes, en la primera se hace la propuesta de la investigación previa del experimento, en la segunda parte se realiza el experimento con la metodología previamente reportada a las temperaturas de 35, 50 y 60°C [7] y en la tercera parte se presenta el cuestionamiento ¿Cuál es la vida útil de una preparación extemporánea de ácido acetilsalicílico que se almacena a 15 °C? Adicionalmente, se solicita realizar una serie de actividades complementarias para determinar los parámetros de activación.

### ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

Actividades previas al experimento

Investigar:

1. ¿Qué es una preparación extemporánea?
2. ¿Cuáles son las principales reacciones de degradación de un fármaco?
3. Las reacciones de hidrólisis ácida y básica de ésteres.
4. Conceptos básicos
5. Orden de reacción
6. El método integral gráfico para determinar el orden de reacción.
7. Método de determinación de constantes
8. Tiempo de vida media
9. Ecuaciones para determinar vida media

10. Vida media de fármacos

11. Como determinar la concentración de NaOH a partir del pH de la preparación extemporánea

12. El efecto de la temperatura en la constante de rapidez de la reacción.

13. La ecuación de Arrhenius

14. La ecuación de Eyring

15. La estructura química del ácido acetilsalicílico

16. ¿Qué es la vida útil de un medicamento?

17. ¿Qué es un estudio de estabilidad acelerada?

Equipo(s), reactivo(s), material(es)

#### EQUIPO

1 potenciómetro con electrodo de vidrio  
1 parrilla con agitación magnética

REACTIVOS, DISOLUCIONES	DISOLVENTES	Y
----------------------------	-------------	---

1 mmol (0.1819 g) de AAS		
10 mL de etanol		
20 mL de disolución de hidróxido de sodio 0.1M		
2 mL de disolución de hidróxido de sodio 1M		
Soluciones buffer		
Fenolftaleína en disolución 1% p/v		

#### MATERIAL

##### Por equipo:

1 soporte universal con pinzas  
1 bureta de 10 mL  
2 pipetas volumétricas de 5 mL  
1 pipetas volumétricas de 1 mL  
2 vasos de precipitados de 50 mL  
3 vasos de precipitados de 100 mL  
1 piseta  
1 barra de agitación magnética  
1 vaso de precipitados de 600 mL  
1 termómetro  
1 cronómetro

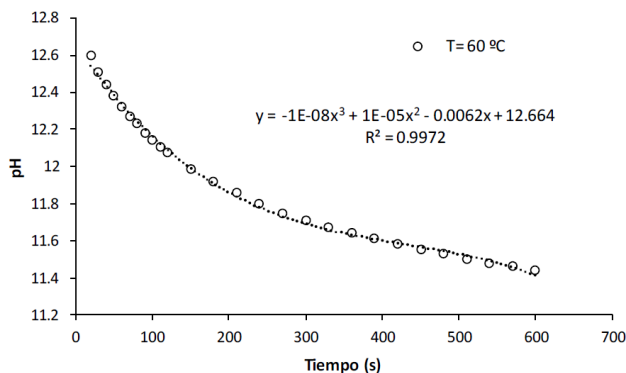
### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Pesar 1 mmol de AAS, y disolver en 5 mL de etanol, después de solubilizarse por completo, agregar 5 ml de agua. Adicionar a la disolución de AAS una gota de fenolftaleína y añadir lentamente 10 ml NaOH (0.1 M), para neutralizar al ácido carboxílico del AAS.

2. La disolución de AAS neutralizada se lleva a temperatura de 60°C (constante), introduzca el electrodo a la disolución. Al llegar el sistema a la temperatura requerida, mida con pipeta volumétrica 1 mL de NaOH (1M) y agregue rápidamente a la disolución de AAS. Poner en marcha el cronómetro en el momento en que ha sido adicionado el NaOH. (Agite rápidamente la disolución)
3. Haga medidas de pH para la reacción: en intervalos de 10s durante el primer minuto e intervalos de 30 s durante 10 min.
4. Realice el mismo procedimiento llevando la disolución de AAS a temperatura de 35°C y 50°C Registrar las mediciones de pH cada 30 s durante 10 min.

### RESULTADOS

Presentamos como se realiza el tratamiento de datos para obtener la vida de útil de la preparación extemporánea del AAS. Con los resultados de pH, se trazó un gráfico de pH en función del tiempo (Figura 1). Además, se determinó el pH a tiempo cero para cada temperatura, mediante regresión polinómica [8]. En este caso el pH a tiempo cero corresponde al valor independiente de la ecuación polinómica obtenida, por ejemplo, a 60°C el pH a tiempo cero es 12.664.



**Figura 1.** Avance de la reacción de hidrólisis básica en función del pH a T=60°C

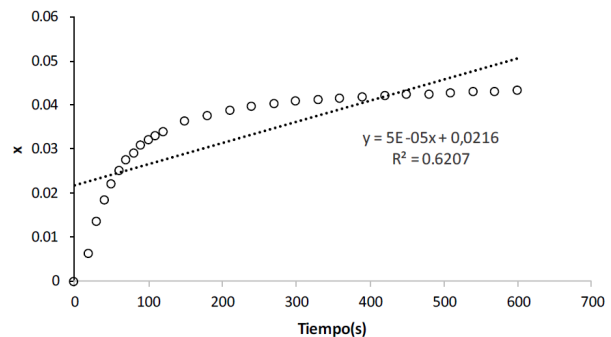
Posteriormente, a partir de los valores de pH, se obtuvieron las concentraciones remanentes de NaOH y en consecuencia de AAS. Con estos valores se determinó el orden de reacción y la constante de rapidez por el método integral gráfico, en donde se evaluaron los modelos cinéticos de orden cero, uno y dos

(Figuras 2-4).

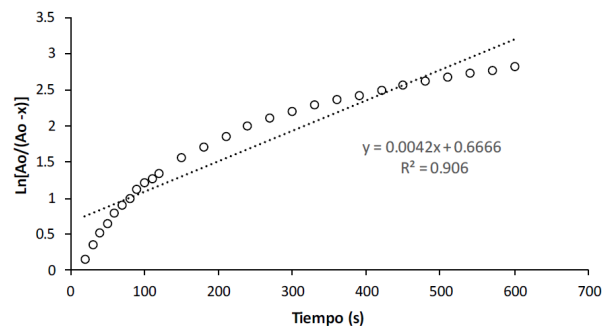
Tabla 1. Modelos cinéticos de orden de reacción

Orden	Ecuación	Ecuación
0	$x = k_0 t_C$	Ec. 4
1	$\ln \frac{A_0}{(A_0 - x)} = k_1 t$	Ec. 5
2	$\frac{x}{A_0(A_0 - x)} = k_2 t$	Ec. 6

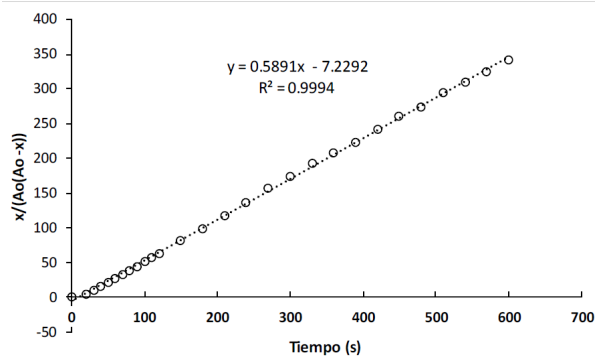
Al aplicar regresión lineal, el cuadrado del coeficiente de correlación ( $r^2$ ) más cercano a uno a todas las temperaturas es para una cinética de reacción de orden dos.



**Figura 2.** Modelo de orden cero para la reacción de hidrólisis básica AAS a T=60°C



**Figura 3.** Modelo de orden uno para la reacción de hidrólisis básica de AAS a T=60°C



**Figura 4.** Modelo de orden dos para la reacción de hidrólisis básica AAS a T=60°C

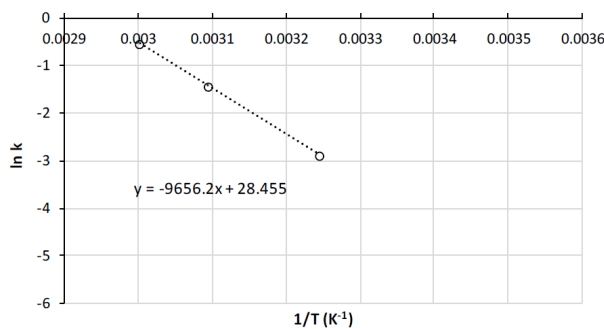
A partir de la pendiente de ecuación de la línea recta para orden dos, se obtiene las constantes de rapidez para cada temperatura (Tabla 2).

**Tabla 2. Constantes de rapidez de segundo orden**

T (K)	k (M <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	1/T (K <sup>-1</sup> )	ln k	Ln (k/T)
308.15	0.0561	0.003245	-2.8806	-8.6112
323.15	0.2403	0.003094	-1.4258	-7.2039
333.15	0.5891	0.003001	-0.5291	-6.3377

Utilizando la ecuación de Arrhenius en su forma lineal (Ec. 7), se traza el gráfico de ln k vs 1/T (Figura 5). Se obtiene una línea recta con pendiente igual a E<sub>a</sub>/R en donde la ordenada al origen corresponde al ln A. La pendiente negativa es igual a -9656.1 K<sup>-1</sup> y la ordenada al origen de 28.455.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \frac{1}{T} \quad (\text{Ec. 7})$$



**Figura 5.** Representación gráfica de la ecuación de Arrhenius.

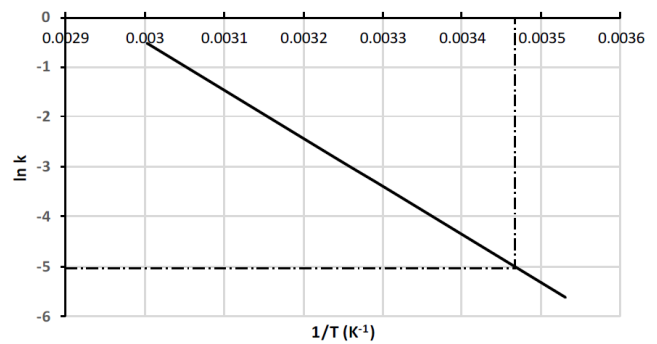
Para obtener la energía de activación, esta se despeja de la pendiente.

$$E_a = -mR = 19.18 \text{Kcal mol}^{-1}$$

Y el factor de frecuencia se obtiene de la ordenada al origen.

$$A = \exp^b = \exp^{28.455} = 2.2795 \times 10^{12} \text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$$

La determinación de la constante la rapidez de hidrólisis del AAS a 15°C, se realiza de forma gráfica por interpolación (Figura 6) o por sustitución en la ecuación de Arrhenius, obteniéndose un valor de 6.37 × 10<sup>-3</sup> M<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup> (Ec. 8).



**Figura 6.** Extrapolación gráfica a 15° de la ecuación de Arrhenius

$$\ln k = -9656.1 \text{K} \left( \frac{1}{288.15} \right) + 28.455 \text{M}^{-1} \text{s}^{-1} \quad \text{Ec. 8}$$

$$k = 6.37 \times 10^{-3} \text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$$

El período de validez (fecha de caducidad, vida útil) se define como el tiempo necesario para que se degrade el 10% del principio activo contenido en una forma de dosificación [9].

Entonces, para determinar la vida útil de la preparación extemporánea de AAS, se utiliza la ecuación de t<sub>1/10</sub> para una cinética de segundo orden (Ec. 9).

$$t_{1/10} = \frac{1}{9kA_0} \quad (\text{Ec. 9})$$

Sustituyendo la constante de rapidez a 15°C y la concentración inicial de la preparación extemporánea en la Ec. 9, se obtiene que la vida útil de una preparación extemporánea de AAS en medio de etanol/agua con adición de NaOH, es de 378.1 s.

$$t_{1/10} = \frac{1}{9(0.00637 M^{-1}s^{-1})(0.04613 M)} = 378.1 s$$

### PARÁMETROS DE ACTIVACIÓN

Para obtener los parámetros de activación, se utiliza la ecuación de Eyring en su forma lineal (Ec. 2) y se traza el gráfico de  $\ln(k/T)$  en función de  $1/T$  (Figura 7). Después de realizar una regresión lineal, se despeja la  $\Delta S^\ddagger$  de la ordenada al origen y la  $\Delta H^\ddagger$  de la pendiente y el ( $\Delta G^\ddagger$ ) se obtiene de la sustituyendo la  $\Delta S^\ddagger$ , la  $\Delta H^\ddagger$  y la temperatura de 288.15 K, los resultados son mostrados en la Tabla 3.

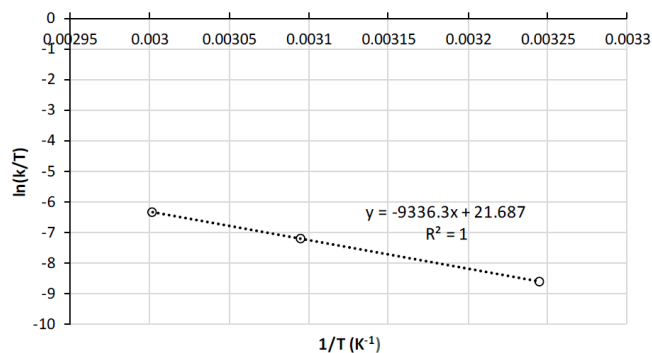


Figura 7. Representación gráfica de la ecuación de Eyring

Tabla 3. Parámetros termodinámicos de activación.

$\Delta H^\ddagger$ (cal mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^\ddagger$ (cal mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	$\Delta G^\ddagger$ (cal mol <sup>-1</sup> )
18.55	-4.11	19.36

### CONCLUSIONES

Se diseñó una actividad experimental para el laboratorio de Físicoquímica Farmacéutica de la carrera de Farmacia, mediante el aprendizaje basado en problemas (ABP), para promover aprendizajes significativos del tema de efecto de la temperatura sobre la rapidez de reacción.

El experimento planteado resulta ser adecuado ya que las mediciones son rápidas, los resultados experimentales permiten el manejo de las ecuaciones cinéticas y orden de reacción, ecuación de Arrhenius, la determinación de parámetros termodinámicos de activación y finalmente el cálculo de tiempo de vida útil a una determinada temperatura. Además, los resultados experimentales son repetibles y reproducibles.

La "metodología experimental" está diseñada a partir de la degradación de ácido acetilsalicílico; siendo un fármaco común tanto en la vida diaria como en su vida profesional de los estudiantes de esta carrera, lo que favorecerá un aprendizaje significativo.

El cuestionamiento propuesto "basado" en un problema apegado a la realidad; ¿Cuál es la vida útil de una preparación extemporánea de ácido acetilsalicílico que se almacena a 15 °C?; éste como única instrucción para la elaboración del reporte permitirá que su resolución dependa de la estrategia ABP.

Además, la guía para la investigación previa, permitirá a profesores y estudiantes resolver el problema del tema de efecto de la temperatura sobre la rapidez de reacción.

La resolución del problema planteado puede servir como base y posible orientación a quienes en el futuro deseen emplear esta propuesta.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) Proyecto PA-PIME PE212118 por el apoyo económico.

## REFERENCIAS

- [1] Barrows, H. S. (1986). *Medical Education*, 20 481.
- [2] Morales P., Landa V. (2014). *Theory*, 13 145.
- [3] Obaya, A., Vargas, Y. M., Delgadillo, G. (2011) *Educación Química*, 22 (1) 63.
- [4] Boehrer, J. (2002). *On Teaching a Case*. Kennedy School of Government, Harvard University, 1-8.
- [5] Vargas-Rodríguez, Y. M., Obaya, A. (2005). *Cálculo de parámetros de rapidez en cinética química y enzimática*. FES C UNAM.
- [6] NOM-073-SSA1-2015. Recuperada el 11 de mayo del 2018.  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5440183&fecha=07/06/2016](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5440183&fecha=07/06/2016)
- [7] Vargas-Rodríguez, G. I., Obaya, A., Mendoza-Flores, J. J., Gómez-Pliego, R., Miranda, R., Vargas-Rodríguez, Y. M. (2017). *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 82 47. *Memorias de congreso*
- [8] Vargas-Rodríguez, Y. M., Obaya, A., Valdivia, G. I. Vargas-Rodríguez. (2015) *Hidrólisis básica del ácido acetilsalicílico en medio no amortiguado: un experimento d laboratorio con un acercamiento verde*. *Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería*. 8(4):47-58
- [9] Vila Jato, J. L. (1997). *Tecnología Farmacéutica: Aspectos fundamentales de los sistemas farmacéuticos y operaciones básicas*. Síntesis Editorial. Madrid.



## ADSORCIÓN DE MEDICAMENTOS EN AGUA CONTAMINADA POR MEDIO DE CARBÓN ACTIVADO.

Hinojosa Ángeles Yosimara<sup>1</sup>, Gonzáles Guerreño César<sup>\*2</sup>, Alejandra Guadalupe Villegas Pañeda<sup>2</sup>, Leydi Rubí Pérez Vera<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco,

<sup>2</sup>Facultad de Estudios Superiores de Acatlán

yosimara.16@gmail.com, cesargonzalezguerrero@hotmail.com

### RESUMEN

De acuerdo con investigaciones previas, los contaminantes emergentes (CE) son compuestos de distinto origen y naturaleza química, que se encuentran presentes en el medio ambiente con contacto directo con fauna acuática y, al no estar controlados con niveles máximos permisibles en las normas, probablemente están en contacto con el ser humano. El objetivo de este trabajo fue evaluar un método de remoción de CE mediante tres tipos de carbón activado en tres diferentes tamaños como adsorbente para remover restos de analgésicos de agua potable. Se evaluó la capacidad de adsorción del carbón activado mediante un diseño experimental que contempló tres proporciones y dos tiempos de análisis. Los resultados de la metodología de tratamiento de CE con carbón activado demuestran ser prometedores para la remoción de estos contaminantes, por lo que se recomienda continuar su estudio.

**PALABRAS CLAVE:** Contaminantes emergentes, carbón activado, adsorción, tratamiento de aguas, métodos de remoción.

### ANTECEDENTES

La incidencia, la contribución de riesgo y los datos ecotoxicológicos para la mayoría de los contaminantes emergentes (CE) no están disponibles), así que es difícil predecir qué efectos de salud pueden tener en seres humanos y en organismos acuáticos [1]. La principal fuente de entrada de estos compuestos en el medio ambiente son las aguas residuales, aunque también es importante el papel de la agricultura y ganadería como fuente de contaminación difusa de pesticidas y de antibióticos, respectivamente [2]. La presencia de productos farmacéuticos en el medio acuático es ya preocupante y las vías principales de su ingreso en el medio ambiente son a través de la excreción humana, la eliminación de los productos no utilizados y por el uso agropecuario [3].

Desde la década de los años 90, el tema de los fármacos en el medio ambiente ha cobrado fuerza, como demuestran los numerosos artículos publicados des-

de entonces, los cuales han despertado un gran interés científico y social, tal y como ocurrió en España tras la publicación en la prensa de algunos de los resultados obtenidos por el equipo de investigación del Dr. Barceló en El Periódico del 26 octubre de 2005, en El País del 17 enero de 2006, y en El Global del 30 enero de 2006. Entre los fármacos más prescritos en la medicina humana destacan los analgésicos y los antiinflamatorios (ibuprofeno, diclofenaco), los antiepilépticos (Carbamazepina), los antibióticos (amoxicilina, sulfametoxazol), y los  $\beta$ -bloqueantes (metoprolol) [1]. Los CE presentan efectos significativos, como la alteración del sistema endocrino (bloqueando o perturbando las funciones hormonales), afectando a la salud de los seres humanos y de especies animales aun cuando se encuentran en tan bajas concentraciones. [4]

La oxidación se considera como un buen tratamiento para agua con fármacos, mediante cloro u ozono; sin embargo, se debe tener especial cuidado ya que se pueden generar subproductos con efectos desconocidos. En particular, el ozono puede reaccionar con compuestos orgánicos insaturados y con los que tienen anillos aromáticos o hetero-átomos. [5]. La adsorción es otra alternativa de tratamiento, con la ventaja de que es económicamente más viable que otros tratamientos, y ya se han utilizado exitosamente materiales como carbón activado, resina carbonácea, zeolitas con contenidos altos de sílica, nanotubos de carbono, etc. Sin embargo, se requieren grandes cantidades de adsorbente para poder ser utilizado como tratamiento de compuestos orgánicos polares, se ha encontrado que su efectividad de remoción es específica para algunos CE y el costo de regeneración es alto [5].

Por tales motivos, hemos evaluado tres tipos de carbón activado como posibles materiales adsorbentes en la remoción de restos de cinco analgésicos.

### OBJETIVO GENERAL

Evaluar la presencia de contaminantes emergentes en agua contaminada, así como desarrollar un método de remoción de mediante carbón activado.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Desarrollar un método que nos permita identificar y cuantificar ácido salicílico, Ketoprofeno, Naproxeno, Diclofenaco e Ibuprofeno en agua.
- Desarrollar un método para la remoción de los contaminantes antes mencionados mediante tres tipos de carbón activado.

### PARTE EXPERIMENTAL

#### Material y equipos

Para la identificación y cuantificación de los analgésicos se utilizó el Cromatógrafo de Líquidos Perkin Elmer Series 200 con detector UV-Vis.

#### Reactivos y soluciones

Los medicamentos que fueron empleados para este experimento fueron: Ácido acetilsalicílico, Ketoprofeno, Naproxeno, Diclofenaco, Ibuprofeno, todos de Sigma Aldrich. Se utilizó también agua desionizada Milli Q y metanol, grado cromatográfico, marca Teqsiquim.

### DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se diseñó un experimento con base en tres tamaños de partícula del carbón activado: Carbón Malla 300, Carbón Granular malla 4 y Carbón Granular Malla 100. Se pesaron 0.05, 0.25 y 0.5 g de cada tipo de carbón activado en tubos de centrifuga; después se le adicionaron 5 mL de agua desionizada, se fortificó con 2 mg/L de cada uno de los analitos, los tubos se agitaron durante 2 minutos en un equipo vortex y, en seguida, se centrifugaron durante 3 minutos a 4000 rpm y se dejaron reposar durante 5 y 15 minutos.

Transcurrido el tiempo de reposo, se tomaron 2 mL de sobrenadante de cada tubo y se filtraron con un filtro de 45  $\mu$ m de poro, depositando la muestra filtrada de cada tubo en un vial para cromatógrafo. Cada muestra así obtenida se analizó en el cromatógrafo de líquidos de acuerdo con las siguientes condiciones del método: columna SPHERI-5 RP-18, de 250 x 4.6 mm, fase móvil agua:metanol 30:70 ajustado a pH = 3, con longitud de onda 230 nm en el detector.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos que se muestran en la Figura 1 representan el intervalo de trabajo con el que se analizaron las muestras para su identificación y cuantificación. La figura 2 muestra el cromatograma de la mezcla de analitos y su respuesta específica, así como su tiempo de retención.

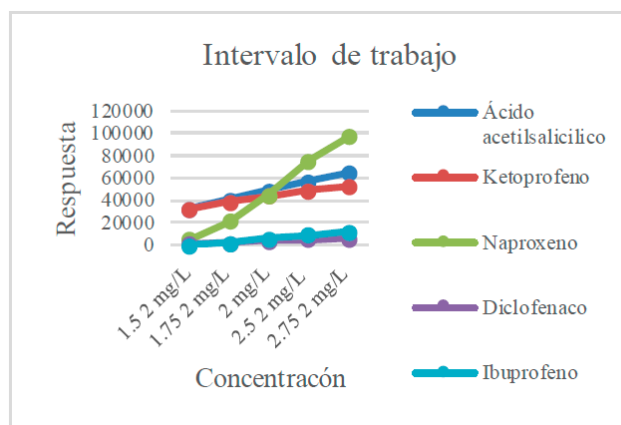
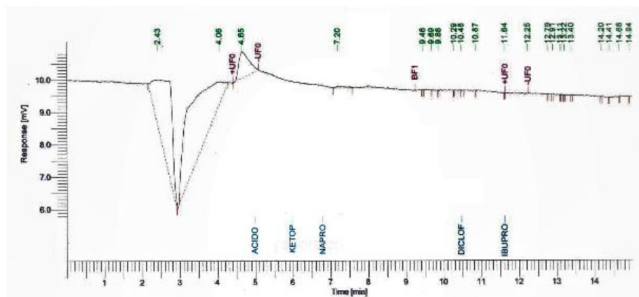
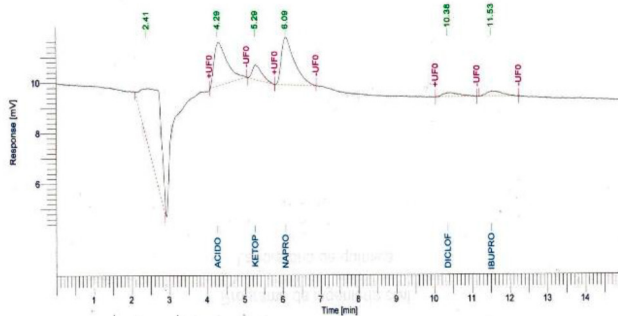


Figura 1. Intervalo de trabajo para la respuesta de absorbancia de los analitos.



A)



B)

Figura 2. A) Identificación de analitos  
y B) su tiempo de retención.

Los resultados indican que para todos los contaminantes, excepto el Ácido acetilsalicílico, la remoción máxima se puede realizar con la masa de carbón mínima y el tiempo mínimo de contacto con el carbón activado malla 300, mientras que para el caso del Ácido acetilsalicílico se requiere mayor cantidad de adsorbente (Tabla 1).

Los resultados presentados en la Tabla 2 indican que la remoción total de los contaminantes mediante carbón activado granular se obtiene con las masas de adsorbente de 0.25 y 0.5 g, tanto en 5 como en 15 minutos de contacto.

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la remoción, la cual fue total para la mayoría de los contaminantes mediante carbón activado granular malla 100, empleando 0.25 y 0.5 g del adsorbente, tanto en 5 como en 15 minutos. La excepción fue el Ketoprofeno, del que se adsorbe la totalidad empleando 0.25 y 0.5 g de carbón con un tiempo de 15 minutos pero no en 5 minutos.

Tabla 1. Porcentaje de remoción con carbón activado malla 300.

Análito	Porcentaje de remoción del CE con Carbón malla 300					
	5 minutos de contacto			15 min de contacto		
	0.05 g de carbón	0.25 g de carbón	0.5 g de carbón	0.05 g de carbón	0.25 g de carbón	0.5 g de carbón
Acido acetilsalicílico	43.64998	61.80803	25.15861	24.01198	23.45239	13.97433
Ketoprofeno	100	100	100	100	100	100
Naproxeno	100	100	100	100	100	100
Diclofenaco	100	100	100	100	100	100
Ibuprofeno	100	100	100	100	100	100

Tabla 2. Porcentaje de remoción de Carbón activado granular malla 4.

Análito	Porcentaje de remoción del CE con Carbón malla 4					
	5 minutos de contacto			15 min de contacto		
	0.25 g de carbón	0.5 g de carbón	0.25 g de carbón	0.5 g de carbón	0.25 g de carbón	0.5 g de carbón
Acido acetilsalicílico	66.68145	100	100	82.19833	100	100
Ketoprofeno	65.83493	100	100	75.0115	100	100
Naproxeno	75.04515	100	100	79.72032	100	100
Diclofenaco	100	100	100	100	100	100
Ibuprofeno	61.02886	100	100	97.04854	100	100

Tabla 3. Porcentaje de remoción de carbón activado granular malla 100.

Análito	Porcentaje de remoción del CE con Carbón malla 100					
	5 minutos de contacto			5 minutos de contacto		
	0.25 g de carbón	0.25 g de carbón	0.25 g de carbón	0.25 g de carbón	0.25 g de carbón	0.25 g de carbón
Acido acetilsalicílico	94.30239	100	100	94.33645	100	100
Ketoprofeno	59.14989	69.23237	78.76005	71.5436	100	100
Naproxeno	87.01426	100	100	100	100	100
Diclofenaco	100	100	100	100	100	100
Ibuprofeno	100	100	100	100	100	100

## CONCLUSIONES

Los resultados de la metodología de tratamiento de agua contaminada con residuos de medicamentos con carbón activado demuestran ser prometedores para disminuir los niveles de concentración de analgésicos, por lo que se recomienda continuar su estudio como una alternativa de línea de tratamiento en agua residual.

## REFERENCIAS

- [1] Becerril, J. E. (2009). Contaminantes emergentes en el agua. *Revista Digital Universitaria*.
- [2] Barceló, L. D., López de Alda, M. J. (s.f.). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. Barcelona, s.f.
- [3] Gil, M., Soto, M., Usma, J., Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción mas limpia*, 52-73.
- [4] García, C., Gortáres, P., Droguí, P. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. *Química Viva*, 96-105.
- [5] Quesada, J. M. (2017). Evaluación de la metodología de tratamiento por adsorción con piedra pómez para un contaminante orgánico emergente en aguas residuales. Cartago.

## CANALIZACIÓN DEL AGUA USADA PARA EL RIEGO DE VEGETACIÓN EN LAS ESCALERAS

Nancy Gutiérrez Herrera, Rubén Isaías Sánchez Carrillo, Abril Stephanie Cervantes Herrera, Wullie González Bernardino, Gerardo Antonio Maldonado Barquera, Tania Daniela Bucio Cano, Aaron García Vázquez, Rubén Isaías Sánchez Carrillo, Lucía García Duran, Jorge Isaac Rodríguez Hernández, Paloma Guadalupe Cruz de la Cruz

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Ingeniería Química

[dimenancy@gmail.com](mailto:dimenancy@gmail.com)

### RESUMEN

El siguiente trabajo describe el planteamiento del proyecto de canalización de agua en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, en las secciones de baños para reutilizar el agua en el riego de plantas (enredaderas), lo cual tendrá un efecto benéfico en la comunidad estudiantil, así como en el medio ambiente siendo un proyecto sustentable.

### INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes históricamente han sido manejadas de forma inadecuada, sean utilizadas para propósitos de carácter urbano o ambiental, comprometiendo el medio biótico. Estas áreas normalmente son regidas por planes de desarrollo propuestos por las municipalidades.

Entretanto, propuestas también son llevadas por la comunidad a los órganos competentes. En este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis de las Áreas verdes de la Fes Cuautitlán. Además, en la manera de subsidiar técnicamente a la comunidad en el planteamiento y ejecución de mejoras, es decir, incorporar la sostenibilidad donde los espacios verdes juegan un papel primordial en el aumento de la calidad de vida de la población.

El análisis se basa en la distribución, estructura, cantidad y calidad de las áreas verdes de la Institución, para la realización de mejoras del área verde de Campo 1, adentro de lo que rigen las leyes de preservación ambiental y conforme a la necesidad de la comunidad. Con esas acciones, el área verde podrá tener una función

social para la comunidad, y el cual actuará activamente en la preservación.

Con el propósito de que el proyecto implique la integración de toda la comunidad estudiantil, además de las varias disciplinas de estudio que se llevan a cabo en Fes Cuautitlán, así poder realizar este proyecto de manera multidisciplinaria por un fin en común, el mejoramiento de las condiciones estructurales de la Institución y que su impacto sea trascendente en otras Instituciones y a otras comunidades. La manera que este proyecto genere un cambio en los cuidados de las áreas verdes de manera sustentable, y que las generaciones posteriores propongan métodos técnicos, no solo para estos espacios, sino para la Institución en general.

### ANTECEDENTES.

Debido al aumento de la contaminación en la ciudad, la UNAM en junio del 2016 empezó un proyecto para convertir las paredes y las azoteas en áreas verdes ya que según el instituto de biología

de la UNAM esto trae beneficios naturalistas como la capacitación del agua, ya que las azoteas verdes regularían el ciclo hidrológico y aumentaría el efecto albedo.

Para poder empezar y administrar este proyecto se creó una página y un grupo llamado eco puma el cual se encarga de informar que es lo que se hace, cómo y dónde.

Hasta ahora solo se sabe de este proyecto en proceso en la FES Zaragoza



Ilustración 1. Página de internet, "eco puma".

#### Planteamiento del problema.

La mejora continua de las instalaciones con enfoque sostenible y cultural.

#### DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.

La delimitación del problema, debido al tiempo, es bastante marcado. Solamente se busca tratar el agua necesaria--canalizándola con PET—para regar plantas, preferiblemente enredaderas, al pie de las escaleras del lado lateral a los baños, pues así no se modifica mucho ni se complica demasiado la instalación del sistema de purificación y regado, usando el sistema de purificación por filtración con piedras impregnadas de plata nikken 200 gr. o en dado caso, utilizar un sistema alternativo de filtrado de agua, que

consta de la utilización de materiales como lo son tela, piedras de diferentes tamaños, carbón, y arena.

Se pretende comenzar con un solo edificio, el A2. Esperando cumplir con las NOM 001 y 003.

La distancia perimetral aproximada de longitud, es de 5.25 metros con una altura de 4.5 metros y una distancia de 120 cm entre cada planta. Además de colocar un "tutor" o guía, ya sea a cada planta o una guía que abarque todas, para que puedan ir subiendo, ya que por ellas mismas no se podría lograr el cometido, así como una buena distribución del sistema con el que se regarán.

#### JUSTIFICACIÓN.

En facultad de estudios superiores Cuautitlán algunos alumnos fuman mucho, además las carreras que se imparten pueden estresarlos demasiado. Un estudio ha comprobado que tener plantas en las escuelas tiene muchos beneficios entre los cuales se encuentran:

- Ayuda transformar los gases nocivos y partículas químicas del ambiente en nutrientes gracias a su absorción, asimismo genera reducción de la contaminación.
- Son ornamentales, es decir; además de ayudar al aire hacen que los espacios luzcan más atractivos.
- Remueven el humo, microorganismos y captan el polvo.
- Reducen el estrés y las consecuencias de éste, incrementando nuestro rendimiento y favoreciendo nuestra atención en las actividades diarias.
- Aumentan nuestra autoestima, pues los reflejos de nuestros cuidados son palpables y están a la vista.
- Las plantas generan un efecto positivo en las personas, ayudando a mantener el buen ánimo y fomentando la paciencia.
- De forma sencilla y natural, influyen en nuestro estado de ánimo mejorando nuestra calidad de vida.
- Incrementan el nivel de concentración y comprensión.
- Incrementan la humedad del aire; es decir, hidratan las mucosas, garganta y piel, evitando así enfermedades.
- Son antidepresivos naturales gracias a que sientan las bases para la cromoterapia y la aromaterapia (técnicas que dicen que la influencia de aromas y colores incentivan sensaciones de bienestar en las personas).

Además es sostenible debido a que satisface las necesidades de las generaciones, en este caso de alumnos, sin comprometer las futuras generaciones, debido a que el agua que se utiliza es reciclada.

Afirmando lo anterior al seguir tres reflexiones importantes de cualquier proyecto sostenible.

Es factible, pues se cuenta con la técnica y recursos humanos necesarios para llevarlo a cabo; es viable, aparte del bajo costo que implica puede verse apoyado por terceros y finalmente es deseable, donde el proyecto se ve principalmente reflejado en el objetivo 11, de 17, de la ONU "Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles".

### ALCANCE.

Se espera que al finalizar el proyectos las plantas colocadas en la facultad den una mejor vista a la facultad y que los alumnos de dicha facultad estén más sanos físicamente y mentalmente y por lo tanto mejor concentrados en su carrera y tengan una mejor calidad de vida, además del impacto ambiental positivo.

Siendo así que el efecto se verá reflejado dentro de la escuela, en el ambiente laboral, para trabajadores y académicos, y en la calidad del aire de la zona.

### OBJETIVO.

Aprovechar el agua de lluvia y usada para el riego de plantas al pie de las escaleras de las instalaciones de la FESC Cuautitlán campus 1.

### OBJETIVOS PARTICULARES.

- Implementar un nuevo sistema de agua de riego.
- Ayudar al medio ambiente.
- Mejorar el aspecto de la FESC.

### Materiales y cotización

En este proyecto se hará uso de diversos materiales, eficientes, ecológicos y accesibles.

Los materiales que se requieren son:

- Tubería:

Se tiene como propuesta hacer la tubería con Polietileno Tereftalato, conocido como (PET); se colocaran depósitos en la escuela para que los alumnos, personal y visitantes, coloquen botellas de plástico que ya no utilicen. Se hará propaganda para comunicar a la comunidad universitaria el porqué de los depósitos, ya que muchas veces las personas no responden de la mejor manera. Con este proceso se espera reutilizar, economizar y hacer más viable el proyecto porque no tendrán ningún precio en cuanto a la tubería.

- Piedras para la purificación por filtración:

Las piedras impregnadas con plata Nikken P Piwater y

waterfall, 200 gr, en mercado libre tienen un costo de 267 pesos MNM con una duración aproximada de 900 litros. Debido a que se trata del riego de plantas no se requieren más filtros complementarios.

-Guía de alambre:

El precio en Home Depot® del alambre es de 30 pesos MNM por Kilogramo, si se consideran poner 5 guías verticales a lo largo de los 5.25m y 5 horizontales en los 4.5 m como se muestra en la siguiente imagen:

4.5 m como se muestra en la siguiente imagen:

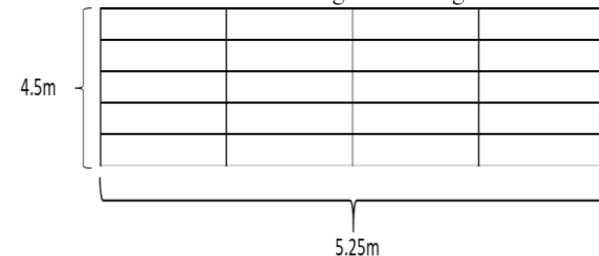


Ilustración 2. Sugerencia de guía alambrada.

Son aproximadamente 48.5 metros lo que serían unos 210 pesos MNM.

### METODOLOGÍA.

Para proceder con el proyecto se plantearon tres etapas principales que son:

Primera fase:

Observar las condiciones en las que se encuentra el espacio donde se colocaran las enredaderas, para dar un estado de las condiciones actuales, verificando principalmente el estado del suelo y fuentes de agua cercana. Haciendo una medición de las dimensiones del área con lo cual se hará un presupuesto del material que será necesario para la realización de la cerca así mismo las herramientas que se necesitaran para la instalación de la red.

2da fase:

Ir a ferreterías y tlalpaleras, para adquirir los materiales y herramientas con las que no se dispongan, haciendo uso de herramientas con las que ya se cuenta. Comprar las piedras que se usaran en las tuberías en el lugar correspondiente.

3er fase:

Instalación de la tubería:

1. Retirar la caída de agua que se encuentra ya instalada; limpiar el tubo de la misma. Colocar a cierta distancia de los tubos una rejilla que sirva para detener a las piedras filtradoras.
2. Cortar trozos de tubo de 1.5 metro de distancia. En el primer trozo colocar un trozo de alambre de arnero que fungirá como un filtro para basura grande. En el segundo trozo colocar el mismo tipo de deja con unas cuantas piedras filtradoras ya que la función de esta será el de ser un primer filtro de las suciedad del agua.
3. Por ultimo en el último tubo colocar una cierta cantidad de piedras purificadoras de tal forma de no detenga mucho el agua para evitar que al pasar agua le de flujo continuo pero tendiendo que en esta etapa el agua debe de quedar lo más purificada posible ya que de esta fase saldrá el agua que ira directo hacia las plantas.
4. Unir los trozos de tubo con coples y el pegamento adecuado.
5. Colocar los tubos de forma que conduzcan al agua hasta la tierra donde estarán las plantas.

Instalación de cerca o alambre:

Se va a colocar la guía colocando clavos en las intersecciones de las esquinas que pueden apreciarse en la imagen 2 recurriendo a clavos de 2 pulgadas, martillo, pinzas y escalera.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nikken. (2018). Nikken PiMag Waterfall® Gravity Water System Manual. USA.
- [2] Naciones Unidas. (2018). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>



## DIAGNÓSTICO EN MATERIA AMBIENTAL DEL HORNO INCINERADOR DE LA FES-C

César Joaquín García Rodríguez, Alma Luisa Revilla Vázquez

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

[cesarfesc@gmail.com](mailto:cesarfesc@gmail.com), [almarv@unam.mx](mailto:almarv@unam.mx)

### RESUMEN

En éste trabajo se realiza un diagnóstico ambiental en el uso del Horno Incinerador ubicado en el campus 4 de la FESC. Se hizo revisión de las condiciones del equipo en campo y la toma de mediciones de temperatura. Se detectaron las actividades directamente relacionadas con el incinerador y se proponen Impactos Ambientales a estudiar, mismos que se jerarquizan tomando como parámetro su "significancia". Con base en los resultados se propone como mejora continua realizar un Programa de Operación en el que se tomen en cuenta los valores de temperatura de operación, la carga óptima de residuos que se ingresa al incinerador así como verificar la correcta inyección de aire a la cámara de incineración.

**PALABRAS CLAVE:** Incinerador, Impacto, Ambiental, Emisiones, Diagnóstico, Residuos, Significancia, Residuos, Incineración

### ANTECEDENTES

Los avances en la tecnología de materiales y diseño de equipo han permitido el desarrollo de cámaras de incineración, quemadores, puertas, materiales para la incineración, sin embargo el horno incinerador opera con la misma tecnología desde hace más de 30 años, sin que a la fecha exista un diagnóstico ambiental de las alteraciones provocadas al entorno en el que se encuentra y determinar si son de alto o bajo impacto.

Factores que influyen en la eficiencia del incinerador son: las condiciones de proceso como temperatura y presión de la cámara de incineración, la carga de material a la que se somete el proceso, las condiciones ambientales en las distintas áreas cercanas a las instalaciones del Horno Incinerador, la eficiencia propia de la incineración, y los procedimientos llevados a cabo para tratar los residuos de los laboratorios.

Considerando que la temperatura es la variable que más incluye en el comportamiento del material dentro del incinerador, se realizaron una serie de mediciones para determinar la temperatura de operación del hor-

no incinerador y así tener mayor certidumbre de la eficiencia de la incineración e indirectamente del tipo gases que se emiten a la atmósfera por dicha condición.

La primera etapa de temperatura que va desde los 300 0C corresponde a evaporación total del agua y al comienzo de la fase de volatilización, en la que los compuestos con punto de ebullición menor a 300 0C se desprenden en forma de gas: A partir de esta temperatura comienzan las reacciones de combustión [1].

La segunda etapa abarca desde los 300 a los 1000 0C la cual corresponde a la oxidación de la materia orgánica con la consiguiente formación de SOX y CO<sub>2</sub>, si existen productos que lo propicien; hacia los 700 0C se producen sintetizaciones. A mayor temperatura y en función de la naturaleza reductora del medio, las reacciones de gasificación, es decir, las reacciones en la que deja de intervenir el oxígeno. Esto provoca que el equilibrio se desplace y se formen CO y SOx. A partir de los 900 0C se

inicia la formación de NOX de origen térmico a partir del nitrógeno del aire.

La incineración constituye el método de eliminación definitiva más efectivo ya que puede reducir hasta el 90% de volumen y el 75% del peso y consigue una eliminación adecuada. Es la principal alternativa para el tratamiento de los residuos patológicos. Las desventajas radican en los altos costos de instalación, mantenimiento y de control de emisiones, así como el procedimiento controlado para el manejo de cenizas y de los gases producidos. Una incineración deficiente puede generar dioxinas y furanos en niveles superiores a los límites máximos permisibles.

## OBJETIVO

Realizar una evaluación ambiental sobre el Horno Incinerador de la FESC con base en un estudio de campo, establecer un vínculo entre las actividades realizadas en el Horno Incinerador y la normativa ambiental mexicana vigente y aplicable de la SEMARNAT para así proponer medidas de mejora en la operación que ayuden en la mejora de su funcionamiento.

## PARTE EXPERIMENTAL

Medición de la Temperatura de operación. Para este parámetro se utilizó el medidor de temperatura De Walt infrarrojo DCT414S1, que funciona sin contacto, mide la temperaturas de -28,90 a 5000C (-200 a 932 0F), con precisión en una amplia gama de materiales. Se realizaron 4 mediciones en días distintos de noviembre de 2016. Se tomaron 4 mediciones en cada punto de los cuales se obtuvo la temperatura promedio de ese punto.

Los puntos seleccionados se muestran en la figura 1, las letras B, C, I, D, E, F son puntos de la cámara de incineración, los puntos J y K son de la parte de la chimenea que está bajo techo, los puntos 1 al 4 hacen referencia a la parte de la chimenea que se encuentra al aire libre.

Se seleccionaron una serie de puntos en la superficie del incinerador para tener el perfil de temperaturas exterior, con el fin de obtener indirectamente las condiciones de temperatura en las cámaras de incineración así como en la chimenea.

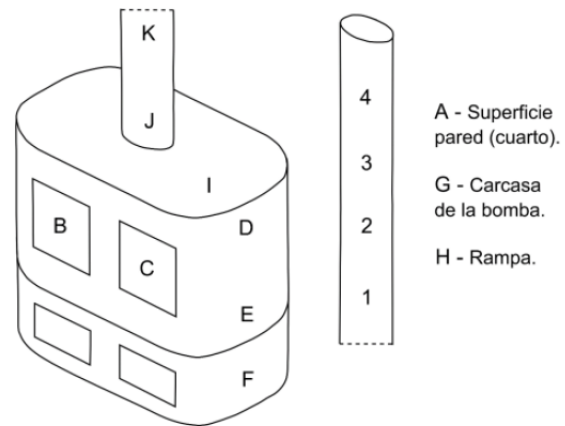


Figura 1. Puntos seleccionados para medida de temperatura.

Diagnóstico de usos y procedimientos del Horno Incinerador. Se llevaron a cabo pláticas con el personal operativo y administrativo a cargo del horno incinerador. Toma de evidencia visual de las condiciones actuales del incinerador. Se visitó al operador del Horno Incinerador para conocer el tiempo de la jornada de trabajo del equipo, y la demanda aproximada de incineración. Se constató la existencia de la bitácora de entrada de material a la cámara de incineración. Se tomó evidencia fotográfica de las instalaciones.

Una vez definidos los criterios y valores de evaluación, todas y cada una de las interacciones actividad-aspecto ambiental son sujetos de evaluación en forma de matriz, para con ello obtener un valor numérico que permite diferenciar el nivel de impacto generado por la actividad estableciendo entonces el concepto de significancia. Esta significancia es obtenida mediante el siguiente algoritmo [2]:

### Significancia del Impacto

$$\text{Sig}=(Dn+Fr)*(Rv*Mg)$$

Donde:

Sig= Significancia; Dn= Duración

Mg=Magnitud; Fr= Frecuencia

Rv=Reversibilidad

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente tabla 1 se presentan los resultados promedio obtenidos en relación a la medición de la temperatura, en los puntos establecidos anteriormente en la figura 1.

**Tabla 1.** Resultados de los promedios de las mediciones de temperatura en °C.

Punto	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
A	14.75	36.00	18.00	21.75
B	15.00	168.75	58.75	96.75
C	66.75	180.00	144.75	110.75
D	21.00	69.00	47.00	37.25
E	22.75	70.25	46.25	36.75
F	19.75	37.75	30.50	27.00
G	18.00	27.50	21.25	20.25
H	17.00	39.50	28.50	112.25
I	28.00	162.25	63.00	72.25
J	150.25	447.25	422.00	300.25
K	97.00	246.75	200.00	150.75
1	145.00	437.25	359.25	224.75
2	88.75	331.75	241.00	191.75
3	75.00	280.00	214.75	175.25
4	77.25	246.00	207.00	136.75

### Jerarquización y análisis de los impactos

En la siguiente lista se indican los impactos con resultado de significancia más altos como resultado del análisis.

1. Cambio a la calidad del aire por emisión de dioxinas, furanos y HCB. Valor de significancia: 45.
2. Cambio a la calidad del aire por emisión de NOX. Valor de significancia: 45
3. Cambio a la calidad del aire por emisión de CO. Valor de significancia: 45
4. Cambio a la calidad del aire por emisión de SOX. Valor de significancia: 30.
5. Emisiones de CO2. Valor de significancia: 30.
6. Generación de Lixiviados y su consecuente infiltración al manto. Valor de significancia: 30
7. Cambio a la calidad del aire por emisión de partículas suspendidas. Valor de significancia: 24.
8. Afectación la salud y seguridad del personal por disposición e identificación incorrecta, errónea u omisa de los residuos no incinerables por

su incompatibilidad química incluidos los residuos con sustancias corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas e inflamables. Valor de significancia: 24.

9. Cambio de las propiedades del suelo próximo al incinerador por el contacto con las cenizas. Valor de significancia: 15.

10. Contaminación de la tierra por infiltración de agua con materia orgánica. Valor de significancia: 10.

Se realizó una evaluación sobre los impactos que el horno incinerador presenta en el entorno y los que se pueden presentar eventualmente; en esta evaluación se consideraron las distintas actividades relacionadas con su operación. Se define que la emisión de contaminantes a la atmósfera es el punto de principal interés en materia ambiental y que requiere atención inmediata y con alta eficacia, además de ello se deberán reemplazar piezas completas de placa metálica y bloque refractario para mantener la integridad estructural de todo el equipo e instalaciones que involucran al horno incinerador.

Si bien no todos los puntos requeridos en la normatividad aplican y para algunos se debe determinar su correcto cumplimiento, se considera que la normatividad estudiada tiene como principal objetivo regular las actividades de magnitud industrial que puedan afectar el equilibrio ecológico, el cual no es el caso del Horno Incinerador por no estar sujeto a demanda industrial o proveer servicio a terceros. Un plan preventivo que involucre los resultados del presente trabajo puede ayudar en corto plazo y con relativamente pocos recursos a que se prevengan afectaciones a la salud, así como accidentes y discrepancias con la normatividad de calidad aplicable [3].

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las facilidades brindadas para este trabajo a la Superintendencia de Obras y Conservación y al Departamento de Ciencias Biológicas de la FESC así como a la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental de la SEMARNAT.

## CONCLUSIONES

Las emisiones a la atmósfera representan el impacto con mayor significancia, por ello se propone como mejora el realizar un Programa de Operación en el que se tomen en cuenta los valores de temperatura de operación, la carga óptima de residuos que se ingresa al incinerador, así como verificar la correcta inyección de aire a la cámara de incineración.

El estado actual del horno incinerador es mejorable y se debe procurar también la implementación de lineamientos de uso de dicho equipo por todas las áreas que hacen uso del mismo, así como la capacitación continua del fogonero y su supervisor.

## PERSPECTIVAS

Este estudio sirvió de base para presentar ante el Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA) un proyecto que involucra la adquisición de un equipo nuevo, de mayor capacidad y que trabaje con gas natural, el cual cumpla con todas las normativas nacionales en materia de emisiones al ambiente. A la fecha, dicho proyecto ha sido apoyado y se espera que a finales de este mismo año (2018) se tenga ya en función el nuevo horno incinerador.

## REFERENCIAS

- [1] Niessen, W. R. (2010). Combustion and Incineration Processes. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- [2] SEMARNAT. (2009). Manifestación de Impacto Ambiental. Procesadora de Residuos Infecciosos. Recuperado de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/col/estudios/2009/06CL2009ID012.pdf>
- [3] NOM-098-SEMARNAT-2002. (2004) Protección Ambiental - Incineración de Residuos, Especificaciones de Operación y límites de emisión de contaminantes. Recuperado de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=664977&fecha=01/10/2004](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=664977&fecha=01/10/2004)

## ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA DESCALCIFICACIÓN DE CÁSCARA DE CAMARÓN POR FERMENTACIÓN CON BACTERIAS LÁCTICAS

Marlenne Vázquez Aldana<sup>1</sup>, María Aurora Martínez Trujillo<sup>1\*</sup>, Martín Rogelio Cruz-Díaz<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico de Estudios Superiores Ecatepec,  
<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México,

\*[amartinezt@tese.edu.mx](mailto:amartinezt@tese.edu.mx), \*\*[cdmrmartin@hotmail.com](mailto:cdmrmartin@hotmail.com)

### RESUMEN

La producción de quitina a partir de los residuos de la cáscara de camarón suele llevarse a cabo mediante un procesamiento químico de los residuos, que genera problemas de contaminación. Una alternativa para el aprovechamiento de estos residuos en la obtención de polímeros de interés industrial es el uso de métodos biológicos, como la fermentación bacteriana, en la que se genera ácido láctico que contribuye a la descalcificación de la cáscara. En el presente trabajo se presenta un experimento en el que se probaron dos bacterias lácticas (*Bacillus coagulans* y *Lactobacillus delbrueckii*), que al crecer en un medio con cáscara de camarón y glucosa produjeron alrededor de 35 g/L de ácido láctico, con lo que se logró un 80 % de descalcificación de la cáscara de camarón.

**PALABRAS CLAVE:** quitina, *Bacillus coagulans*, *Lactobacillus delbrueckii*, ácido láctico, descalcificación.

### ANTECEDENTES

La cáscara de camarón y otros crustáceos contiene principalmente quitina, que se puede convertir en quitosano mediante diversos procesos químicos o biológicos [1]. Esta quitina está ligada a elevadas cantidades de calcio, que hay que eliminar para obtener el polisacárido deseado. La metodología más utilizada para eliminar el calcio es mediante el procesamiento químico. Para ello se han utilizado diferentes ácidos fuertes (como HCl, HNO<sub>3</sub> o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) o débiles (CH<sub>3</sub>COOH, HCOOH). Las concentraciones evaluadas varían desde 0.2 M a 6 M a temperaturas de -20°C a 100°C [1]. Una de las grandes desventajas del método de descalcificación química de la cáscara de camarón es el alto consumo de agua y energía, además de la producción de desechos corrosivos de ácido y álcali, que contaminan el ambiente y tienen que ser tratados; además de que puede provocar una fuerte degradación del polímero [2].

La alternativa más viable ha para la descalcificación ha sido el método biológico, en el que la cáscara se somete a fermentación con bacterias, que se encargan de producir ácido láctico que hará las veces de los ácidos usados en el proceso químico [3].

### OBJETIVOS

Analizar la pertinencia de descalcificación de cáscara de camarón mediante fermentación bacteriana.

### METODOLOGÍA

**Cepas.**

En este estudio se utilizaron las cepas *Bacillus coagulans*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Howaru bifido* LYO (Danisco), *Howaru rhamnosus* LYO (Danisco), *L. rhamnosus*-32 200B (Danisco), *L. acidophilus* 141 200B (Danisco).

**Medios de cultivo.**

Se utilizaron dos formulaciones de medio de cultivo, mismas que se describen a continuación:

**Medio MRS:** Glucosa 2 g, peptona 1.0 g, extracto de levadura 0.5 g, extracto de carne 1.0 g, citrato de amonio 0.2 g, MgSO<sub>4</sub> 0.01 g, MnSO<sub>4</sub> 0.005 g, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub> 0.5 g, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0.2, tween 80 0.1 g y agua destilada 100 ml.

**Medio mínimo:** Glucosa 3.3 g, extracto de levadura 1.1 g, (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0.22 g, MnSO<sub>4</sub> 0.01 g en 100 ml de agua destilada [4].

El valor del pH de los medios se ajustó a 7.0 mediante la adición de ácido sulfúrico al 1 M.

#### Desarrollo de los inóculos

Se inocularon, en experimentos independientes, tres asadas de la cepa en un matraz con medio MRS y se incubaron a 40° C y 200 rpm durante 24 h. La biomasa contenida en el matraz se cuantificó por densidad óptica, comparando los valores contra los de una curva patrón en la que se relacionaba la concentración estimada por peso seco y la densidad óptica. Todos los experimentos se inocularon con el 10 % del volumen final con la dilución necesaria del inóculo para iniciar con 1 g/L de biomasa.

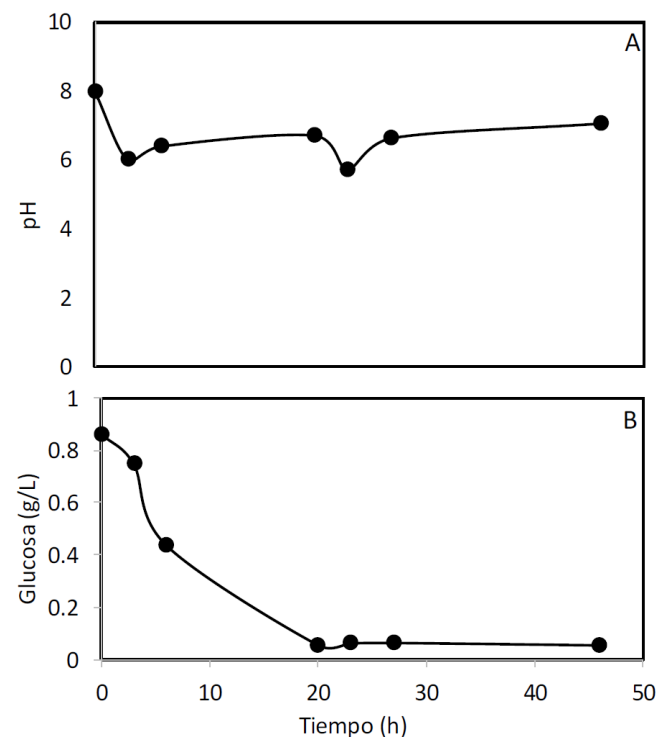
**Desarrollo de los cultivos por lote para la fermentación de la cáscara de camarón.**

Se desarrollaron los experimentos en botellas de vidrio a las que se les agregó 1 g de cáscara de camarón molida y 9 ml de medio mínimo con 10 g/L de glucosa. Luego de la esterilización, se les agregó 0.5 ml del inóculo de *B. coagulans* y 0.5 ml del inóculo de *L. delbrueckii* y se incubaron a 40 °C y 200 rpm durante 46 horas. A lo largo del cultivo se retiraron tres frascos en muestras periódicas. A las muestras se les midió el pH (con un potenciómetro) y posteriormente se centrifugaron a 4000 G durante 10 minutos. Al sobrenadante se le cuantificó el contenido de glucosa por el método de DNS [5], y la producción de ácido láctico por espectrofotometría [6]. Se cuantificó el contenido de calcio en la cáscara de camarón mediante secado de las muestras hasta cenizas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Este experimento es una prueba preliminar para verificar que es posible descalcificar la cáscara de camarón mediante métodos biológicos, y así ob-

tener quitina a partir de este desecho. Al respecto, se presentan los resultados obtenidos hasta el momento, en los que se analiza la producción de ácido láctico y su efecto sobre la descalcificación de la cáscara de camarón.

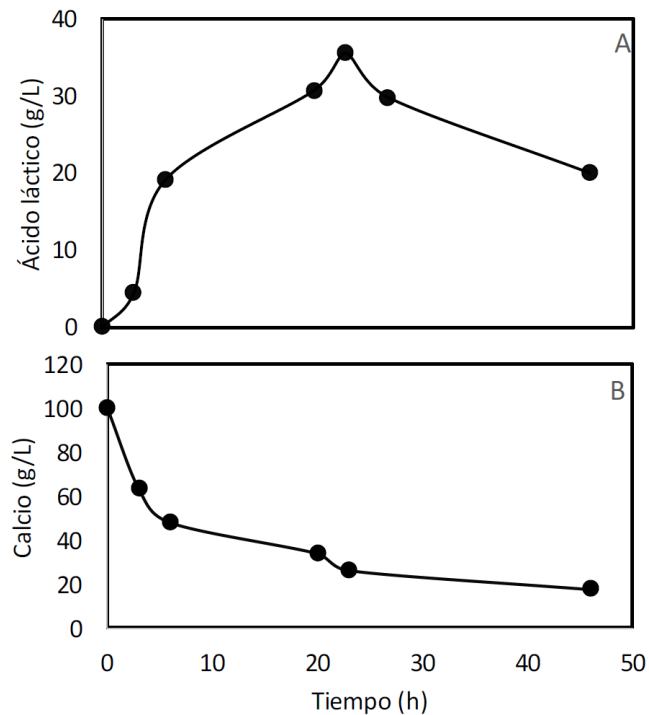


**Figura 1.** Evolución del pH (A) y consumo de glucosa (B) durante la evolución del cultivo de *B.coagulans* y *L. delbrueckii* sobre cáscara de camarón em medio mínimo con 10 g/L de glucosa.

El análisis de la evolución de cultivo mostró que el pH disminuyó dos unidades durante las primeras horas, y se mantuvo alrededor de 6 durante el resto del mismo. Por otra parte, se observó que la glucosa se consumió casi por completo durante las primeras 20 h de cultivo (Figura 1B).

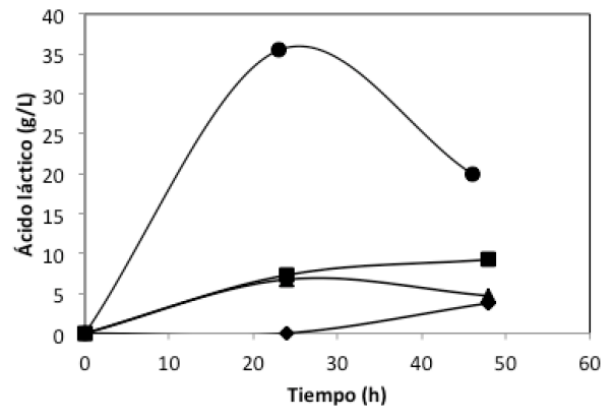
Es posible observar que a las 24 h hubo una disminución de pH, que coincide con la máxima producción de ácido láctico. A ese respecto, los datos muestran que este ácido se fue produciendo a lo largo de la fermentación, alcanzando su valor máximo para luego disminuir (Figura 2A). En relación a la producción de ácido láctico, se observó la descalcificación continua de la cáscara de camarón durante las primeras 24 h de cultivo (Figura 2B). Los resultados fueron coincidentes

con otros reportes, que indican que por métodos biológicos puede alcanzarse una descalcificación de más del 70% de la cáscara [3].



**Figura 2.** Producción de ácido láctico (A) y contenido de calcio en la cáscara (B) a lo largo de la fermentación con *B. coagulans* y *L. delbrueckii* creciendo en medio mínimo con 10 g/L de cáscara de camarón y 10 g/L de glucosa.

Para identificar si era posible obtener una cepa con mayor capacidad de producción de ácido láctico, se replicó este experimento agregando una de cuatro cepas ácido lácticas que fueron recibidas como donativo. La Figura 3 muestra que la mayor producción de ácido láctico sigue obteniéndose con *B. coagulans*, y que esta fue más de tres veces mayor que la producida por las otras bacterias lácticas.



**Figura 3.** Producción de ácido láctico por *H. bifido* (●), *L. rhamnosus* (◻), *H. rhamnosus* (◻) y *B. coagulans* (◻) en cultivos líquidos con 10 g/L de cáscara de camarón y 5 g/L de glucosa.

En este experimento no fue posible cuantificar el crecimiento de ninguna de las cepas a lo largo del cultivo, ya que ambas crecieron al mismo tiempo y no fue posible analizarlas por separado. Sin embargo, se trabaja en el establecimiento de la técnica para poder diferenciar el comportamiento de las cepas a lo largo del proceso.

## CONCLUSIONES

Se obtuvieron resultados favorables con respecto a la descalcificación biológica de la cáscara de camarón, ya que ambas cepas al trabajar juntas lograron una alta producción de ácido láctico.

Se obtuvo una descalcificación de alrededor del 80 % de la cáscara de camarón.

Es necesario hacer un análisis más detallado de la producción de ácido láctico durante la fermentación de la cáscara de camarón y el impacto que tiene sobre la descalcificación, así como sobre el desarrollo de la cepa productora de proteasas y el proceso de desproteínización correspondiente.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dra. Eva Rodríguez Huevo por la donación de las cepas de las bacterias lácticas.

## REFERENCIAS.

- [1] Arbia, W., Arbia, L., Adour L., Amrane. A. (2013). Chitin Extraction from Crustacean Shells Using Biological Methods – A Review. *Food Technology and Biotechnology* 51 (1) 12–25.
- [2] Marmol, Z., Paez, G., Arujo, K., Aiello, C., Chandler, C., Gutierrez, E. (2011). Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revision de sus aplicaciones *Revista Tecnocientifica URU* (1), 53 - 58.
- [3] Cira, L. A., Huerta, S., Hall, G. M., Shirai, K. (2002). Pilot scale lactic acid fermentation of shrimp wastes for chitin recovery, *Process Biochemistry* 37 (12), 1359-1366.
- [4] Bautista., K. (2017). Tesis de Maestría. Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.
- [5] Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31 (3), 426-428.
- [6] Borshchevskaya, L. N., Gordeeva, T. L., Kalinina, A. N., & Sineokii, S. P. (2016). Spectrophotometric determination of lactic acid. *Journal of analytical chemistry*, 71(8), 755-758.



## ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA SÍNTESIS DE LACTATO DE ETILO EN UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN REACTIVA.

Magda Karina Oaxaca Beltrán, Ottmar Gregorio Serrano Schaub, Abigail Martínez Estrada, Elvía Mayen Santos, Paula Álvarez Fernández, Miguel Ángel Vázquez Flores, Eligio Pastor Rivero, Martín Rogelio Cruz-Díaz\*

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. 1° De Mayo s/n Colonia Santa Ma. Las Torres, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54740, México.

[cdmrmartin@hotmail.com](mailto:cdmrmartin@hotmail.com)

### RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la esterificación del ácido láctico (AcLac) con etanol (EtOH) para producir lactato de etilo (LacEt) y agua (H<sub>2</sub>O) como subproducto, en una columna de destilación reactiva (CDR) escala laboratorio en modo continuo. Se utilizó como catalizador una resina de intercambio iónico ácida fuerte (DOWEX 50W), la cual se incorporó en los sacos reactivos del empaque catalítico tipo KATAPAK SP 11, mientras que en las zonas no reactivas (enriquecimiento y despojo) se instaló empaque tipo MELLAPAK, ambos empaques se construyeron en la FESC campo uno. Se estudió la influencia de la carga térmica y la relación de reflujo como variables de operación sobre la pureza del LacEt en la corriente del producto del fondo. El trabajo experimental realizado consistió de tres experimentos, de los cuales el tercer experimento se logró operar la CDR en estado estable, en donde se utilizó un flujo másico de 0.547 kg h<sup>-1</sup> para el AcLac y 0.453 kg h<sup>-1</sup> para el EtOH, correspondientes a una carga total de 1 kg h<sup>-1</sup>, la relación de reflujo que se manejó fue de 1.52, se obtuvo un flujo de destilado de 0.462 kg h<sup>-1</sup> con el siguiente vector composición (x<sub>EtOH</sub>=0.565, x<sub>LacEt</sub>=0.075 y x<sub>H<sub>2</sub>O</sub>=0.360) y un flujo másico de fondos de 0.348 kg h<sup>-1</sup> con el vector composición correspondiente (x<sub>EtOH</sub>=0.018, x<sub>AcLac</sub>=0.178 y x<sub>LacEt</sub>=0.804). Al final de la presente investigación se logró implementar una metodología experimental que permitió alcanzar el estado estable de operación de la columna de destilación reactiva, obteniéndose así un experimento exitoso.

### ANTECEDENTES

El lactato de etilo (LacEt) pertenece a los solventes biológicos de la familia de los ésteres de lactato, se encuentra de forma natural en pequeñas cantidades en una amplia variedad de alimentos, incluyendo el vino, el pollo y algunas frutas. El LacEt es un éster 100 % biodegradable, fácil de reciclar, no corrosivo, no cancerígeno y no daña la capa de ozono, por lo que es usado en diferentes áreas industriales como: aditivo de alimento, perfumería, así como saborizante, sin embargo la atención que este éster ha atraído en recientes años es por ser considerado como un solvente verde, con una eficiencia comparable a los disolventes a base de petróleo, cumpliendo con al menos 8 de los 12 principios de la química verde, estimando así que el LacEt podría sustituir a los solventes tradicionales en

más del 80% de sus aplicaciones [1].

La destilación reactiva es una de las tecnologías que genera un gran interés por las ventajas que brinda en comparación a una destilación convencional, ya que en una sola unidad de proceso se lleva a cabo de manera simultánea, tanto la reacción química como la separación selectiva del producto. Esta técnica se aplica principalmente para reacciones de esterificación y eterificación. La síntesis de la esterificación del LacEt vía destilación reactiva ya ha sido implementada con éxito por Asthana y col. (2005) [2] y Gao y col. (2007) [3] para escala laboratorio y piloto. Asthana y col., (2005) obtuvieron una conversión de AcLac del 95% y una pureza de LacEt de 95%, cuando se alimenta una mezcla de EtOH (99.9%) con AcLac (88%) a una relación

molar (etanol/ ácido láctico) de 3.6. Este proceso también fue estudiado por Gao y col. (2007), donde se presenta un rendimiento de LacEt de sólo el 53%, usando una temperatura de fondo de aproximadamente 115°C y una relación de alimentación molar de reactivos de 4:1.

Actualmente en México no se produce LacEt, toda la demanda nacional se cubre por importación, con base en esta necesidad, en el presente trabajo se desarrolló las estrategias experimentales para sintetizar LacEt en una columna de Destilación Reactiva (DR) escala laboratorio.

## OBJETIVOS

Estudiar el proceso de esterificación de lactato de etilo a partir de ácido láctico y etanol en una columna de destilación reactiva escala laboratorio en continuo.

Estudiar la influencia de la carga térmica y la relación de reflujo como variables de operación sobre la pureza del LacEt en la corriente del producto de fondo.

Encontrar las condiciones más adecuado para que la columna de destilación reactiva alcance el estado estable de operación.

## PARTE EXPERIMENTAL

*Descripción de la Columna de Destilación Reactiva (CDR) escala laboratorio.*

El estudio experimental se realizó en una CDR escala laboratorio, el diámetro interno es de 5.28cm y una altura total de 200cm construida en acero inoxidable. La altura efectiva de la columna empacada es de 115 cm, conformada por diez empaques, equivalentes a 5 etapas teóricas, los cuales están distribuidos en 3 zonas al interior de la columna, en la parte inferior se encuentra la zona de agotamiento, donde se instalaron dos empaques no reactivos (una etapa), en el centro se localiza la zona reactiva, donde se encuentran cuatro empaques reactivos (dos etapas) y en la zona de enriquecimiento, se instalaron cuatro empaques no reactivos (dos etapas). Los empaques reactivos contienen como catalizador una resina de intercambio iónico ácida fuerte, DOWEX-50. La carga másica total de reactivos alimentados fue de 1 kg h<sup>-1</sup>, a una relación molar (EtOH/AcLac) de 2:1. En la alimentación "A"

se suministró el componente más ligero de la mezcla (EtOH), se ubicó justo arriba de la zona de agotamiento a temperatura ambiente con una fracción masa de 0.96. La alimentación de AcLact (alimentación "B"), se ubicó arriba de la zona reactiva a temperatura ambiente con un 85 % de pureza. En el domo de la columna se instaló un condensador construido en vidrio de 55cm de altura con serpentín y camisa de enfriamiento para obtener un condensado total, se utilizó agua helada a 10 °C que pasa primero por el serpentín y posteriormente por la camisa de enfriamiento, el agua fría viaja a contracorriente con respecto al vapor que asciende de la torre. La corriente del domo de la columna consistió de una mezcla de H<sub>2</sub>O y EtOH con pequeñas trazas de LacEt. En el fondo de la torre se instaló un rehervidor tipo termosifón de 55cm de altura con capacidad de 2.160L; para su calentamiento se utiliza vapor a baja presión (máx. 6 kg cm<sup>-2</sup>). El LacEt se obtiene en el fondo de la columna junto con el AcLact y EtOH que no reaccionaron (ver Fig. 1).

## CONDICIONES EXPERIMENTALES

Para encontrar las condiciones de operación estable, así como los requerimientos de carga térmica de la CDR, se realizaron tres experimentos a diferentes relaciones de reflujo y carga térmica. En el experimento uno (E1) se alimentó 0.529 kg h<sup>-1</sup> de AcLact y 0.471 kg h<sup>-1</sup> de EtOH, la relación de reflujo se ajustó a 0.2 y la presión de vapor (carga térmica) suministrada al hervidor se mantuvo en 4 kg cm<sup>-2</sup>. En el experimento dos (E2) la alimentación de EtOH fue de 0.453 kg h<sup>-1</sup>, mientras que la alimentación de AcLac fue de 0.547 kg h<sup>-1</sup>, la relación de reflujo que se ajustó a 0.5 y la carga de presión de vapor al hervidor fue de 5.5 kg cm<sup>-2</sup>. El experimento tres (E3) se realizó bajo las mismas condiciones del experimento E2, pero operando la columna por más tiempo y con una relación de reflujo de 1.52.

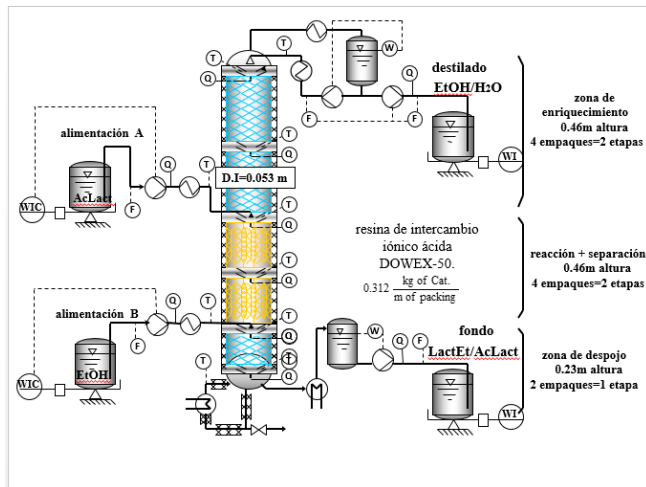


Figura 1. Diagrama de la Columna de Destilación Reactiva (CDR)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se muestran los resultados de los perfiles de temperatura y composición a lo largo de la columna del experimento (E2), los cuales se determinaron después de 3.6 horas de operación. En el perfil de temperatura (Fig. 2a) se observa que el intervalo de temperaturas obtenido en la zona reactiva fue de 71.7 a 69.19°C, estas temperaturas están alejadas de la temperatura óptima de reacción (80 a 90 °C), de acuerdo con los estudios de cinética de reacción realizados por Picco G. (2017), motivo por el cual no existió una alta conversión de reactivos hacia productos. Esto se corrobora con el perfil de composición reportado en la Fig. (2b), donde se observa que el vector composición del producto de fondo es muy rico en AcLac ( $X=0.94$ ) y contiene una baja concentración de LacEt ( $X=0.05$ ). Por lo tanto, para alcanzar una mayor conversión y pureza del LacEt en la corriente del fondo, se necesita alcanzar una temperatura arriba de 122 °C que es la temperatura del punto de ebullición del AcLac, y la temperatura del fondo de la columna fue de 115.9 °C provocando que el reactivo limitante se acumulará en el fondo y no en la zona de reacción.

En la Figura 3 se reporta el perfil de temperatura obtenido en el experimento E2, el cual se realizó a un mayor carga térmica ( $5.5 \text{ kg cm}^{-2}$ ) y relación de reflujo ( $RR=0.5$ ) con respecto a las condiciones trabajadas en el experimento E1 ( $4 \text{ kg cm}^{-2}$  y  $RR=0.2$ , respectivamente). Se observa que al aumentar la carga térmica, se incrementaron las temperaturas a lo largo de

las diferentes zonas de la CDR, sin embargo aún no se sobrepasa la temperatura de 80°C en la zona reactiva, por lo que las conversiones en el fondo aún son bajas (ver Tabla 1).

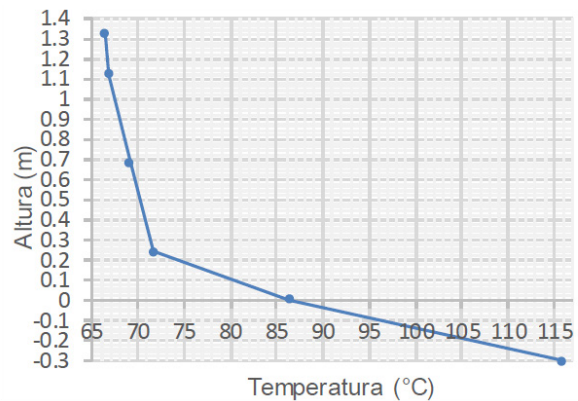


Figura 2 (a). Perfil de Temperatura a lo largo de la columna a 3.6 horas (Exp. E1).

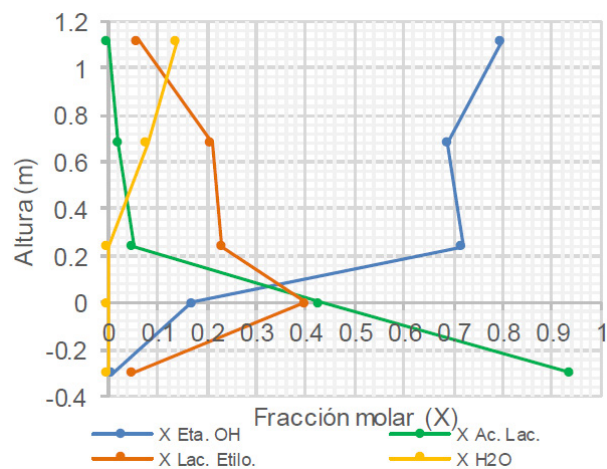


Figura 2 (b). Perfil de composición a lo largo de la columna a 3.6 horas (Exp. E1).

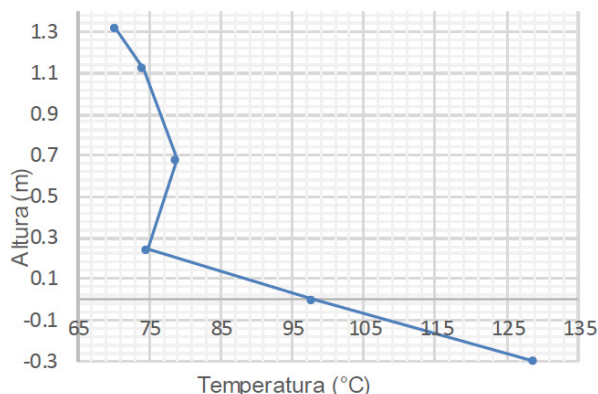


Figura 3. Perfil de temperatura a lo largo de la CDR registrado a 2.1 horas de operación (Exp. E2).

TABLA 1. Vectores composición de las corrientes de destilado y fondo a las 2 horas de operación.

Muestra	X <sub>Eta. OH</sub>	X <sub>Ac. Lac.</sub>	X <sub>Lac. Etilo.</sub>	X <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	X <sub>totales</sub>
Destilado a 1.12m	0.512	0.000	0.032	0.456	1
Fondo a -0.3m	0.011	0.848	0.141	0.000	1

En la Figura 4 se reportan los perfiles de temperatura y composición del experimento E3, en la figura 4(a) se observa que el intervalo de temperatura en la zona reactiva sobrepasa ligeramente los 80°C, además de que la temperatura del rehervidor es mayor a 120 °C. Por lo que la producción de LacEt (x=0.8) es mayor y la concentración de AcLac (x=0.18) es menor (ver figura 4b).

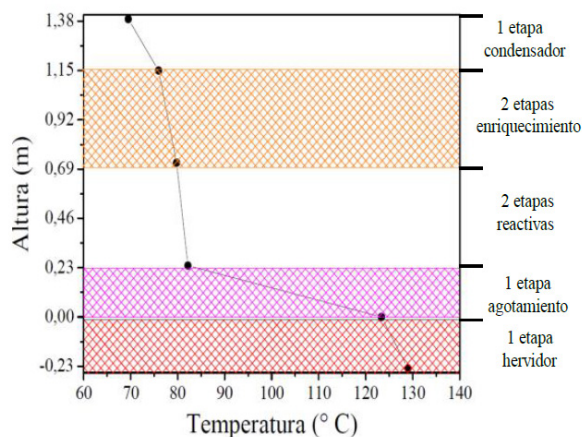


Figura 4 (a). Perfil de Temperatura a lo largo de la columna a 4.25 horas (Exp. E3).

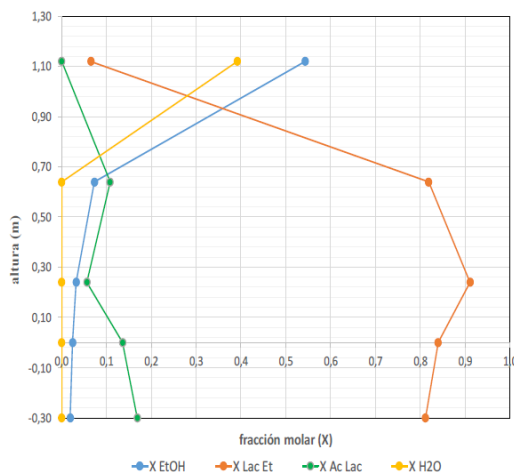


Figura 4 (b). Perfil de composición a lo largo de la columna a 4.5 horas (Exp. E3).

### CONCLUSIONES

En la presente trabajo se estudió la esterificación de LacEt en una CDR, para ello se realizaron un total de 3 experimentos, en los cuales se modificaron variables como la carga térmica y la relación de reflujo. A partir de los dos primeros experimentos, se encontraron las condiciones más favorables para obtener una mayor concentración de LacEt. En el Exp. E1 se encontró que la carga térmica alimentada a la torre no era suficiente, debido a las bajas temperaturas al interior de la misma, encontrando un intervalo de temperatura que va de 71.7 a 69.19°C en la zona reactiva, en esta zona predomina el proceso de separación siendo que la temperatura óptima de reacción co-

rresponde de 80 a 90 °C. En este caso al no alcanzar la temperatura óptima de reacción dentro de la columna no se obtuvo el rendimiento esperado, por lo que se realizó un segundo experimento (Exp.2) en donde se mejoró la obtención de LacEt ( $x=0.141$ ), sin embargo el tiempo de reacción (2.8 horas) no fue suficiente para que el sistema llegara al estado estable, por lo que el Exp. E.3 se dejó trascorrir hasta 4.5 horas para que la columna alcanzará el estado estable, en donde se alcanzó una mayor concentración de LacEt ( $x_{LacEt}=0.8$ ).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al "Programa Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPI-IT)" de la UNAM por el apoyo económico otorgado a los proyectos TA100415 y TA101217. Al proyecto PIAPI 2016-2017 (PIAPI1624).

## REFERENCIAS

- [1] Pereira, C. S. M., Silva, V. M. T. M. Rodrigues, A. E. (2011). Ethyl lactate as a solvent: Properties, applications and production processes – a review. *Green Chemistry*, 13, 2658–2671.
- [2] Asthana, N., Kolah, A., Vu, D. T., Lira, C. T. and Miller, D. J. (2005). A Continuous Reactive Separation Process for Ethyl Lactate Formation, *Organic Process Research & Development*, 9, 599-607.
- [3] Gao, J., Zhao, X. M., Zhou, L. Y. and Huang, Z. H. (2007). Investigation of ethyl lactate reactive distillation process. *Chemical Engineering Research and Design*, 85(4A), 525-529.
- [4] Lunelli, B. H., Morais, E. R., Maciel, M. R. W., Filho, R. M. (2011). Process Intensification for Ethyl Lactate Production Using Reactive Distillation, *Chemical Engineering Transactions*, 24, 823–828.
- [5] Pereira, C. S. M., Zabka, M., Silva, V. M. T. M., Rodrigues, A. E. (2009). A novel process for the ethyl lactate synthesis in a simulated moving bed reactor (SMBR). *Chemical Engineering Science*, 64, 3301–3310.
- [6] Caballo, M. L., Vargas, W. L. (2002). Unidades de transformación multifuncional: un reto del futuro próximo en el desarrollo de la Ingeniería Química. *Ingeniería e investigación*, 51, 50-59.
- [7] Suman, T., Sanjay M. (2009). Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. *Chemical Engineering and Processing*, 48, 927–937.
- [8] Sánchez, C. F. J., Rodríguez, N. G. (1996). Esterificación, *Ingeniería química*, 33, 87-94.

## ESTUDIO CINÉTICO DE LA HIDROLISIS DE LACTATO DE ETILO CATALIZADA POR UNA RESINA ÁCIDA DOWEX-50

Geovanni Picco Ramírez, Abigail Martínez Estrada, Paula Álvarez Fernández, Elvia Mayen Santos, Miguel Ángel Vázquez, Flores, Eligio Pastor Rivero Martínez, Martín Rogelio Cruz-Díaz\*

Departamento de Ingeniería y Tecnología, Laboratorio Experimental Multidisciplinario (LEM) de Ingeniería Química Nave 1000, Campo Uno.

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. 1°. De Mayo s/n Colonia Santa Ma. Las Torres, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54740, México.

[cdmrmartin@hotmail.com](mailto:cdmrmartin@hotmail.com)

### RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la cinética de la hidrólisis de lactato de etilo (LacEt) con agua (H<sub>2</sub>O) para producir ácido láctico (AcLac) y etanol (EtOH), en presencia de una resina de intercambio iónico ácida fuerte (DOWEX-50). El estudio fue llevado a cabo variando la temperatura (60-80 °C), la carga de catalizador (2.5 a 8 p/p) y la relación molar inicial de reactivos (6:1, 15:1 y 26:1). Los resultados obtenidos fueron ajustados a dos modelos cinéticos: el modelo Eley-Rideal (ER) y el modelo Langmuir-Hinshelwood (LH). Se consideró la no idealidad del sistema mediante el cálculo de coeficientes de actividad usando el modelo termodinámico UNIQUAC. Usando los modelos ER y LH, se encontraron los siguientes valores: energía de activación,  $E_a$  (KJ/mol) = 60.28 y 59.9, y constantes pre-exponenciales del modelo de Arrhenius,  $k^0$  (mol g<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>) = 29986.1 y 32172.2, respectivamente.

### ANTECEDENTES

La cinética de la hidrólisis de lactato de etilo y esterificación de sus productos catalizada por una resina de intercambio iónico ha sido reportada por Delgado et al. [2], la cinética de esterificación de ácido láctico con etanol por Pereira et al. [5], la cinética de la hidrólisis de lactato de metilo y la esterificación de los productos por Sanz et al. [3] y la cinética de la hidrólisis de lactato de metilo por Shao-Tong et al. [1].

En el estudio llevado a cabo por Delgado et al. [2], se usó una resina ácida fuerte "Amberlyst 15". Los coeficientes de actividad fueron calculados con el modelo UNIQUAC, los datos experimentales fueron correlacionados con el modelo cinético pseudo-homogeneo (PH) y con el modelo Langmuir-Hinshelwood (LH), obteniendo resultados muy similares, las energías de activación para la esterificación y para la hidrólisis resultaron ser 52.29 y 56.05kJ/mol, respectivamente.

En el estudio llevado a cabo por Pereira et al. [5], se usó una resina ácida fuerte "Amberlyst 15".

Los coeficientes de actividad fueron calculados usando el modelo UNIQUAC, los datos experimentales fueron correlacionados usando el modelo LH y se encontró una energía de activación de 49.98KJ/mol. En el estudio realizado por Sanz et al. [3], se usó igualmente una resina ácida fuerte "Amberlyst 15". Los coeficientes de actividad fueron calculados con el modelo UNIFAC, los datos experimentales fueron correlacionados usando 3 modelos, el modelo PH, el modelo LH y el modelo Eley-Rideal (ER), las energías de activación encontradas para la esterificación y para la hidrólisis resultaron ser 48.52 y 50.91kJ/mol respectivamente. En el estudio llevado a cabo por Shao-tong [1] se usó una resina ácida macroporosa "D001" y los datos experimentales fueron correlacionados únicamente con el modelo LH; la energía de activación encontrada resultó ser de 45.84 kJ/mol; en este estudio no se calcularon los coeficientes de actividad.

### OBJETIVOS

Estudiar la cinética de la reacción de hidrólisis de lactato de etilo (LacEt) en presencia de una resina de in-

tercambio catiónico DOWEX-50W para generar ácido láctico (AcLac) y etanol (EtOH). Evaluar el efecto de la temperatura en la rapidez de la reacción.

Evaluar el efecto de la relación molar de reactivos.

Evaluar el efecto de la cantidad de resina en la rapidez de la reacción.

## PARTE EXPERIMENTAL

### Metodología experimental

Los experimentos se realizaron en un reactor intermitente adiabático con capacidad de 200mL construido en vidrio, las condiciones de operación fueron: temperaturas de 60, 70 y 80 °C; carga de catalizador de 2, 5 y 8 (% p/p) y la relación molar de reactivos (H<sub>2</sub>O/LacEt) cargados al reactor de 6:1, 15:1 y 26:1. La sección de la chaqueta de calentamiento se conectó a un baño de temperatura para mantener constante la temperatura de la mezcla de reacción, la agitación se realizó por medio de un agitador de revolución variable. El reactor cuenta con cuatro entradas en la parte superior, los cuales sirvieron para: 1) medición de temperatura (termómetro), 2) entrada de reactivos y resina, 3) toma de muestra y 4) un orificio para conectar un condensador de serpentín de vidrio acoplado a un baño frío de temperatura que evitó pérdidas de materia por evaporación. La toma de muestras se realizó por medio de una jeringa de vidrio a diferentes intervalos de tiempo. Con el fin de detener el avance de la reacción en las muestras éstas se diluyeron en acetonitrilo, el cual sirvió además como estándar interno para la cuantificación analítica en el cromatógrafo de gases, en la Figura 1 se muestra el esquema del dispositivo experimental.

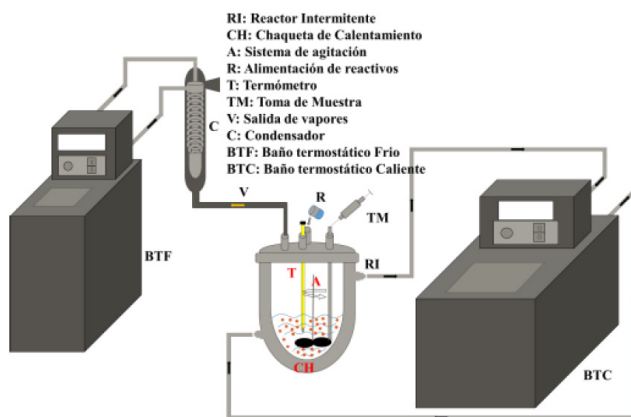
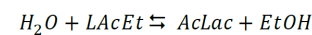
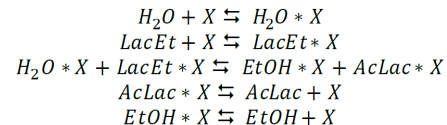


Figura 1. Esquema del dispositivo experimental.

## MÉTODOS TEÓRICOS

Las etapas del mecanismo de reacción propuesto consisten de la adsorción de los reactivos, agua (H<sub>2</sub>O) y lactato de etilo (LacEt), sobre la superficie del catalizador, seguida de la reacción superficial de los reactivos adsorbidos en los sitios activos y la desorción final de los productos.



Si se considera que los reactivos, los productos y las especies ligadas al sitio activo se encuentran en equilibrio y que el paso determinante de rapidez es la reacción superficial, entonces se obtiene la siguiente expresión para la hidrólisis de lactato de etilo:

$$\frac{dn_i}{dt} = \frac{(k)([a_{H_2O}][a_{LacEt}] - \frac{[a_{AcLac}][a_{EtOH}]}{K_{eq}})}{(1 + K_{H_2O}[a_{H_2O}] + K_{LacEt}[a_{LacEt}] + K_{AcLac}[a_{AcLac}] + K_{EtOH}[a_{EtOH}])^n} \quad (1)$$

Para una reacción en la cual solo uno de los reactivos se encuentra adsorbido antes de llevarse a cabo la reacción,  $n$  toma el valor de 1 (modelo Eley-Rideal, ER), si ambos reactivos se encuentran adsorbidos,  $n$  toma el valor de 2 (modelo Langmuir-Hinshelwood, LH). El efecto de la temperatura sobre la tasa de reacción se toma en cuenta con la ecuación de Arrhenius:

$$k = k^0 e^{-Ea/RT} \quad (2)$$

El efecto de temperatura sobre las constantes de equilibrio ( $K_{eq}$ ) y las constantes de adsorción ( $K_i$ ) se expresa en términos de polinomios de la siguiente forma.

$$K_{eq} = A + \frac{B}{T} + C \ln(T) + D(T) \quad (3)$$

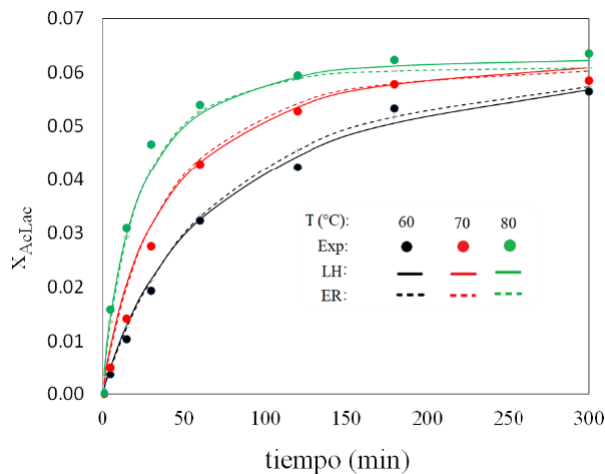
$$K_i = A_i + \frac{B_i}{T} + C_i \ln(T) + D_i(T) \quad (4)$$

El modelo cinético (ER o LH) se utilizó para ajustar los datos experimentales, se empleó el software "Aspen reaction modeler" de AspenTech V8 para ajustar los datos a los diferentes modelos y encontrar los parámetros  $k^0, E_a, A, B, C, D, A_i, B_i,$

$C_{i,D_i}$ , el software utiliza el método Nelder-Mead para optimizar el valor de los parámetros, con el objetivo de simplificar el modelo, se despreciaron las constantes de adsorción del AcLac y del LacEt, debido a que las constantes del H<sub>2</sub>O y del EtOH son mucho más grandes. Las propiedades termodinámicas se estimaron con el software "Aspen properties". La ecuación diferencial se resolvió con el método Euler implícito. Los parámetros de interacción binaria para el modelo UNIQUAC se tomaron de trabajo de Pereira et al. [5].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

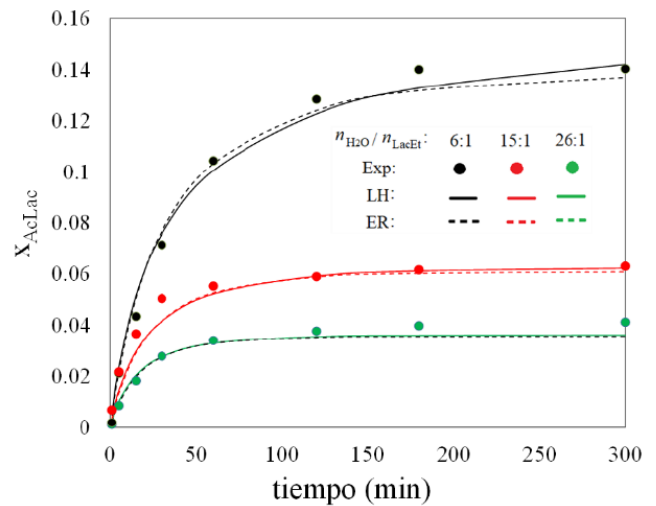
En la Figura 2 se muestra el efecto de la temperatura sobre la fracción molar de ácido láctico producida ( $x_{AcLac}$ ) en función del tiempo a una relación molar de reactivos ( $n_{H_2O}/n_{LacEt}$ )=15:1 y una carga de catalizador de 2.5% (p/p). Se observa que al aumentar la temperatura de reacción, se incrementa la tasa de producción del AcLac y se alcanza más rápido el equilibrio de la reacción. Por lo tanto, la rapidez de reacción es una función fuerte de la temperatura.



**Figura 2.** Efecto de la temperatura sobre la fracción molar de ácido láctico producida ( $x_{AcLac}$ ) en función del tiempo. Relación molar de reactivos ( $n_{H_2O}/n_{LacEt}$ )=15:1 y una carga de catalizador de 2.5% (p/p).

En la Figura 3 se muestra el comportamiento del efecto de la relación molar de reactivos ( $n_{H_2O}/n_{LacEt}$ ), a una carga de catalizador de 5% (p/p) y temperatura de 80 °C, sobre la fracción molar producida de AcLac ( $x_{AcLac}$ ). Se observa que al

disminuir los moles iniciales de H<sub>2</sub>O en el reactor, se incrementa la tasa de producción del AcLac, indicando que un exceso de agua causa un efecto inhibitorio en los sitios activos del catalizador por la fuerte adsorción de este compuesto.



**Figura 3.** Efecto de la relación molar de reactivos ( $n_{H_2O}/n_{LacEt}$ ), a una carga de catalizador de 5% (p/p) y temperatura de 80 °C, sobre la fracción molar producida de AcLac ( $x_{AcLac}$ ).

El efecto que tiene la carga del catalizador, en el intervalo trabajado (2.5 a 8 % p/p), sobre la tasa de producción del AcLac no se presenta porque se observó que esta variable no influye de una forma considerable sobre la producción de AcLac. Por otro lado, se observa que bajo el intervalo de condiciones experimentadas, tanto el modelo ER como el LH predicen de forma satisfactoria los datos experimentales. En la Tabla 2 se reportan los valores de los parámetros obtenidos a través del ajuste de los datos experimentales, se observa que los valores de las constantes para ambos modelos son consistentes y similares, excepto aquellos de las constantes de equilibrio ( $K_{eq}$ ). Los valores encontrados están de acuerdo con los reportados por Delgado et al. [2], quienes reportaron un valor de 56.05kJ/mol para la hidrólisis del LacEt y una constante pre-exponencial ( $k^0$ ) de  $4.105 \times 10^6$ .



**Tabla 1. Parámetros estimados con los modelos ER y LH para hidrolisis de LacEt.**

Parámetro	ER	LH
<b>A</b>	-0.001982	0.021247
<b>B</b>	-0.000256	0.01798
<b>C</b>	-0.003682	0.025623
<b>D</b>	0.0002051	0.023255
<b>A<sub>H2O</sub></b>	1.72876	1.577
<b>B<sub>H2O</sub></b>	0.003982	-0.008076
<b>C<sub>H2O</sub></b>	0.00415	-0.00393
<b>D<sub>H2O</sub></b>	-0.000196	-0.003089
<b>A<sub>EtOH</sub></b>	1.60672	1.59614
<b>B<sub>EtOH</sub></b>	0.002461	-0.040601
<b>C<sub>EtOH</sub></b>	0.004259	-0.001464
<b>D<sub>EtOH</sub></b>	-0.000315	-0.000464
<b>k° (mol g<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>)</b>	29986.1	32172.2
<b>E<sub>A</sub> (KJ/mol)</b>	60.2862	59.9

## CONCLUSIONES

La relación molar inicial de reactivos, así como la temperatura afectan fuertemente la tasa de reacción. En el intervalo de cargas de catalizador ensayadas, esta variable mostró un efecto muy pequeño en la rapidez de reacción.

Ambos modelos (ER y LH) representaron de una forma satisfactoria el comportamiento cinético del sistema, por lo tanto, estos modelos pueden ser usados para el diseño de columnas de destilación reactivas para la purificación del AcLac.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al "Programa Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT)" de la UNAM por el apoyo económico otorgado a los proyectos TA100415 y TA101217. Al proyecto PIAPI 2016-2017 (PIAPI1624).

## REFERENCIAS

- [1] Jiang, S., Liu, M., Pan, L. (2010). Kinetic study for hydrolysis of methyl lactate catalyzed by cation-exchange resin. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 41, 190-194.
- [2] Delgado, P., Sanz, M. T., Beltran, S. (2007). Kinetic study for esterification of lactic acid with ethanol and hydrolysis of ethyl lactate using an ion-exchange resin catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 126, 111-118.
- [3] Sanz, M. T., Murga, R., Beltrán, S., Cabezas, J. L. (2004). Kinetic Study for the Reactive System of Lactic Acid Esterification with Methanol: Methyl Lactate Hydrolysis Reaction. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 43, 2049-2053.
- [4] Aspen Technology (2001). *Aspen Physical Property System: Physical Property Methods and Models 11.1*.
- [5] Pereira, C., Pinho, S. P., Silva, V., Rodrigues, A. E. (2008). Thermodynamic Equilibrium and Reaction Kinetics for the Esterification of Lactic Acid with Ethanol Catalyzed by Acid Ion-Exchange Resin. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 47, 1453-1463.

## IRRADIANCIA UV SOLAR EN UN SITIO AL NORTE DEL ESTADO DE MÉXICO.

Julio César Morales-Mejía<sup>1\*</sup>, Rafael Almanza Salgado<sup>2</sup>, Lauro Santiago Cruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM,

<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería de la UNAM

mmjc\_80@yahoo.com.mx, ras@pumas.iingen.unam.mx, lsc@pumas.iingen.unam.mx

### RESUMEN

La irradiancia ultravioleta (GUV) es de gran interés en las áreas de la salud humana, del crecimiento vegetal y animal, del desempeño de materiales expuestos al Sol, etc. En México se mide poco esta irradiancia, básicamente en la Ciudad de México (CDMX) y en algunas otras localidades grandes, a pesar de tener una red nacional de Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) que depende de CNA, con 7 estaciones en el Estado de México (ninguna registra irradiancia UV). De esta manera, en la zona norte del Estado de México, no se tenía alguna medición rutinaria del espectro UV solar. Con base en esto, se ha estado midiendo GUV en un sitio alto de Cuautitlán Izcalli, de forma automática y con adquisición de datos cada 30 segundos mediante hardware y software libres (Arduino® y Genuino®). Se presenta el diseño, desarrollo y puesta en marcha del sistema de radiometría (RADSOL), así como comportamiento de la irradiancia UV durante los inviernos 2016-2017 y 2017-2018.

**PALABRAS CLAVE:** radiometría; solar; UV; irradiancia.

### ANTECEDENTES

De acuerdo con Duffie [1], la radiación solar se compone principalmente de fotones ultravioleta o UV (100 – 380 nm), visibles (380 - 780 nm) e infrarrojos (de más de 780 nm). La radiación ultravioleta puede a su vez dividirse, de acuerdo con su longitud de onda, en tres tipos: UVA (315 hasta 380 nm), UVB (280 a 315 nm) y UVC (de 100 a 280 nm). De la irradiancia global extraterrestre (GGo), se reciben alrededor 103 W/m<sup>2</sup> en el rango ultravioleta y es en la capa de ozono estratosférico donde se absorbe una porción importante de ella, principalmente la UVC (de mayor contenido energético y por ello, de mayor riesgo que las otras). Es debido a esta atenuación estratosférica que, a nivel del suelo, se

recibe una fracción generalmente cercana al 50% de la irradiancia UV recibida al exterior de la atmósfera.

La mayor parte de las estaciones radiométricas y/o meteorológicas terrestres miden la irradiancia global sobre un plano horizontal. Una forma ágil de estimar GUV sobre el plano horizontal es mediante el modelo presentado por Quiñonez y Almanza en 2013 [2] con datos de la Ciudad de México, en el cual se toma la irradiancia solar global horizontal GGH, (dato medido) como base:

$$G_{UV}^{290-385 \text{ nm}} = 0.0357 \cdot G_{GH} \quad (1)$$

Para estimar la radiación horaria que incide sobre plano inclinado a partir de la radiación sobre superficies horizontales, se puede usar un factor de corrección geométrico,  $R_b$ , que se define como el cociente de la radiación directa incidente sobre la superficie inclinada dividida por aquella incidiendo sobre una superficie horizontal.

$$R_b \approx \frac{G_{dir,inclinada}}{G_{dir,horizontal}} = \frac{G_{dir,normal} \cdot \cos(\theta)}{G_{dir,normal} \cos(\theta_z)} = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (2)$$

Donde  $\theta$  y  $\theta_z$  corresponden a los ángulos de incidencia y ángulo zenit, respectivamente, como se muestra en la Figura 1 [1, 3].

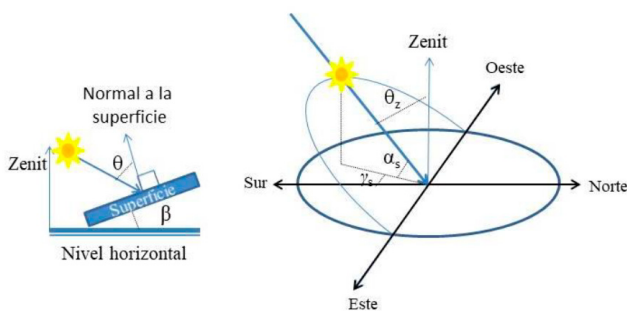


Figura 1. Ángulos solares importantes

Sin embargo, el tratar de estimar la irradiancia UV global sobre un plano inclinado a partir de la irradiancia UV sobre una superficie horizontal y mediante  $R_b$ , puede suponer un error importante debido a que la irradiancia UV suele tener una fracción difusa importante aun en días soleados, siendo incluso mayor del 50% en días nublados. De esta manera, podría resultar importante el determinar un parámetro análogo a  $R_b$ , denominado  $R_b'$ , para conocer  $G_{UV}$  sobre un receptor en un plano inclinado. Siendo que  $R_G'$  se defina como:

$$R_G' = \frac{G_{UV, global inclinada}}{G_{UV, global horizontal}} \quad (3)$$

Una de las opciones para medir a nivel de superficie la irradiancia UV la constituyen los radiómetros, que pueden basarse a su vez en un fotodiodo que produce un voltaje proporcional a la intensidad luminosa que recibe. Como los fotodiodos aquí empleados son muy sensibles, se requiere protegerlos mediante un filtro que disminuye la intensidad de la irradiancia, la convierte en difusa y, a su vez, puede acotar el rango del espectro electromagnético que incide sobre el fotodiodo del sensor. De igual manera, el fotodiodo ha de estar energizado para que el voltaje a su salida sea mayor y pueda entonces medirse y convertirse a una magnitud de irradiancia, todo esto mediante diversos componentes electrónicos y códigos de programación adecuados [4].

Si bien existen sistemas de adquisición de datos o Dataloggers comerciales, con costos de medianos a altos, se tiene también la opción de utilizar hardware y software libres para la recolección y almacenamiento de los datos. En este ámbito, las placas de Arduino® y Genuino® constituyen una opción versátil de calidad y de costo bajo, a la vez que su código de programación es muy simple, existe amplia información libre y manuales tipo Open Access para generar los códigos y, finalmente, está basado en el Lenguaje C (de amplio uso en programación). Con lo anterior en consideración, en este trabajo (parte del proyecto llamado RADSOL, cuyos avances se plasman en el presente trabajo) se presentan los resultados del desarrollo del sistema RADSOL y las mediciones de varias irradiancias UV para su posterior uso en la obtención experimental de  $R_b'$  para el caso particular en que el plano inclinado tenga una pendiente  $\beta$  de  $19.5 \pm 0.5^\circ$  con respecto a la horizontal (latitud media de Cuautitlán Izcalli:  $19.65^\circ$ ).

## OBJETIVOS

1. Registrar de forma continua y confiable las irradiancias UV en los planos horizontal e inclinado en un punto no estudiado del norte del Estado de México.
2. Desarrollar un código de programación para sistemas Arduino enfocado a una estación radiométrica típica.

## PARTE EXPERIMENTAL

El sistema RADSOL consta de 5 radiómetros ultravioleta marca SolarLight, de 3 modelos diferentes y arreglados para medir la irradiancia UV en los planos horizontal e inclinado, así como de un piranómetro Kipp&Zonen (que mide la irradiancia desde UVC hasta infrarrojo cercano, NIR, y que entrará en operación en el verano de 2018), tal como se presenta en la Tabla 1.

Para el presente trabajo, se reportan las mediciones de irradiancia UVA+UVB de los sensores PMA1107 para los inviernos de 2016-2017 y de 2017-2018 (diciembre 21 a marzo 20).

**Tabla 1.** Sensores del sistema RADSOL

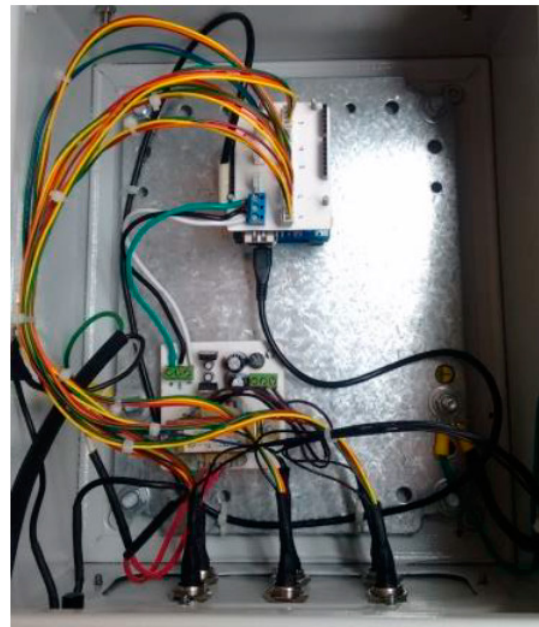
Sensor	Espectro de medición	Plano de medición
PMA1122	UVC	Horizontal
PMA1107	UVA + UVB	Horizontal
PMA1107	UVA + UVB	Inclinado hacia el sur, $\beta = 19.5^\circ$
PMA1107	UVA + UVB	Horizontal
PMA1110	UVA	Inclinado hacia el sur, $\beta = 19.5^\circ$
CMP 3	UVC a NIR	Horizontal

Los sensores se orientaron geográficamente mediante una brújula digital con corrección del norte geográfico por el efecto geomagnético. Luego, estos se conectaron a una tarjeta Arduino Leonardo en sus entradas analógicas, en la cual se registran las mediciones de los radiómetros cada 30 segundos y son almacenadas en una tarjeta micro SD, todo esto mediante el código de programación realizado y la regulación de un reloj físico.

Además de la tarjeta Leonardo, se usaron tres tarjetas adicionales (Figura 2):

- Tarjeta Ethernet Shield de Arduino (posibilita la conexión del sistema a Ethernet)
- Tarjeta de Interfaz de conexiones cableadas (construida especialmente para el sistema RADSOL).
- Tarjeta para regular la alimentación de energía eléctrica a todo el sistema.

· El conjunto de los sensores en operación (FES Cuautitlán-UNAM, Campo 1), el gabinete de exteriores que contiene a las tarjetas, y el No-Break que soporta la energización de los sensores en caso de fallo de la energía eléctrica, se presenta en la Figura 3.

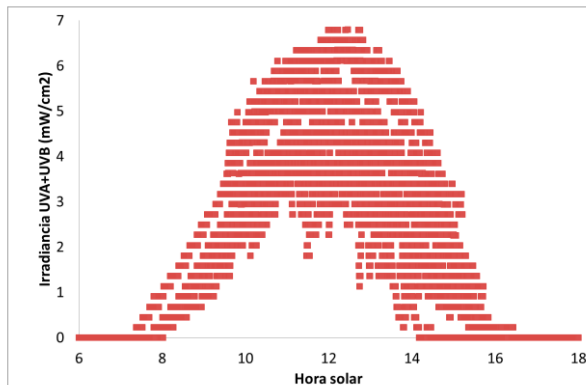


**Figura 2.** Gabinete de exteriores con las tarjetas y las conexiones de los sensores en operación.



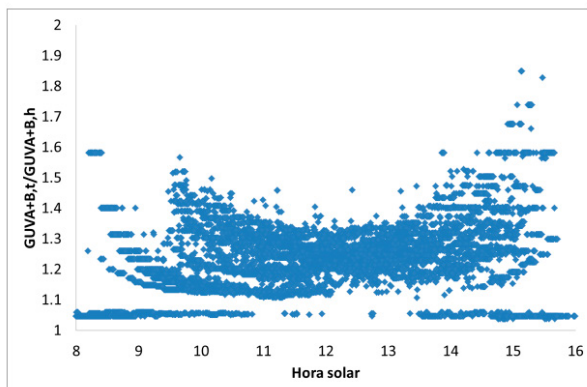
**Figura 3.** Sistema RADSOL en operación en FES Cuautitlán, UNAM.





**Figura 6.** Irradiancias UVA+UVB horarias en el plano inclinado  $19.5^\circ$  para los inviernos 2016-2017 y 2017-2018 (mediciones representativas; resultados sin filtrar).

Es en la Figura 7 que se presenta el cálculo de  $RG'$  para el espectro UVA+UVB de la luz solar para varios días de invierno representativos, con la expresión 3 aplicada a cada una de las mediciones puntuales efectuadas al mismo instante en los dos planos. Ahí se aprecia un comportamiento parabólico en la gran mayoría de los datos obtenidos, con valores cercanamente constantes cerca del medio día solar ( $12:00 \pm 1:00$  horas).



**Figura 7.**  $RG'$  de las irradiaciones UVA+UVB para los inviernos 2016-2017 y 2017-2018 (mediciones representativas).

Los datos de la parte baja de la Figura 7 corresponden a los momentos en los que estuvo nublado, de manera que básicamente la radiación UV difusa predominó y es cercanamente la misma en los planos estudiados ( $RG'$  es cercano a 1 bajo esas condiciones meteorológicas).

## CONCLUSIONES

El sistema RADSOL se ha comportado estable y registrado las mediciones de irradiación UV correctamente. La irradiación UVA+UVB ha presentado un comportamiento descrito por una función de un solo pico (tipo gaussiana) con respecto a la hora solar, tanto para el plano horizontal, como para el inclinado.

La irradiación UVA+UVB solar en el plano horizontal ha tenido máximos cercanos a  $5 \text{ mW/cm}^2$  y a  $7 \text{ mW/cm}^2$  sobre el plano inclinado  $19.5^\circ$ , en horarios cercanos al medio día solar ( $12:00 \text{ pm} \pm 1:00$  horas).

El parámetro  $RG'$  ha tenido un comportamiento parabólico, cóncavo hacia arriba, con valores cercanamente constantes entre 11 y 13 horas solares.

$RG'$  ha tenido valores entre 1.1 y 1.4 al medio día solar, lo cual es congruente con el comportamiento esperado para esta estación del año e indicador de que los dispositivos empleados en fotoquímica solar, en la zona norte del Estado de México, deben estar orientados hacia el Sur (lo cual les permitirá obtener un incremento de la energía UV disponible de entre 10 y 40 % con respecto a aquella en el plano horizontal).

Los datos de irradiación UVA+UVB registrados en la placa Arduino deben ser filtrados para eliminar las mediciones bajo cielo nublado y determinar  $RG'$  solo para cielo soleado.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la FES Cuautitlán por el financiamiento para el desarrollo del presente trabajo, mediante el Proyecto PIAPI 1622 (Radiación ultravioleta solar: medición y aplicación en fotoquímica ambiental),

Se agradece también a DGAPA/UNAM por los proyectos PAPIIT IA106216 (Tratamiento fotocatalítico solar de agua con contaminantes no biodegradables tipo ECP encontrados en México) e IA106318 (Depositarlo de TiO<sub>2</sub> sobre soportes densos para la oxidación fotocatalítica solar de contaminantes de preocupación emergente en agua).

## REFERENCIAS

- [1] Duffie, B. (1991). Solar Engineering of thermal processes. New Jersey, USA: Wiley.
- [2] Quiñonez, L. A.; Almanza, R. (2013). Modelo preliminar de radiación UV para la República Mexicana. Memorias del Primer Simposio Procesos Solares de Oxidación Avanzada. Instituto de ingeniería, México.
- [3] Iqbal, M. (1983). An introduction to solar radiation. Canada: Academic Press.
- [4] Cruz, S. Morales, J. C.; Almanza, R. (2017). Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables fisicoquímicas necesarias en la determinación de parámetros cinéticos y de eficiencia en fotocátalisis heterogénea solar o calentamiento de agua. Memorias de Congreso SOMI XXXII-Congreso de Instrumentación. 25 a 27 de octubre de 2017. Acapulco, Guerrero.
- [5] Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli. (2018). H Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli Recuperado de <http://cuautitlanizcalli.gob.mx/>.
- [6] CDMX Portal Ciudadano. (2018). CDMX Ciudad de México. Recuperado <http://www.cdmx.gob.mx/>.

## LAS VARIACIONES DE VOLTAJE, SUS AFECTACIONES EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES INTERNOS DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.

Ángel Raygoza Trejo

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM,

[araygozafescunam@gmail.com](mailto:araygozafescunam@gmail.com)

### RESUMEN

Las variaciones constantes de voltaje en la alimentación eléctrica de los equipos de medición: balanzas analíticas digitales, espectrofotómetros, microscopios electrónicos y cualquier equipo de medición que requiera de alimentación eléctrica, pueden ocasionar problemas en el funcionamiento del equipo, quizás no inmediatamente, pero si esta variación se da de manera constante, puede dañar la tarjeta electrónica del equipo, dejándolo fuera de servicio. Estas variaciones de voltaje se presentan en la red de suministro en forma de picos altos y bajos. Este trabajo es una investigación de diferentes referencias, tratando de explicar cómo estas variaciones constantes de voltaje pueden afectar el funcionamiento de los equipos de medición.

**PALABRAS CLAVE:** variación voltaje, equipo, funcionamiento, afectación, disturbios.

### ANTECEDENTES

La Norma Oficial Mexicana 001-SEDE-2005 establece para la República Mexicana el voltaje apropiado para el hogar u oficina es de 127 volts de corriente alterna. Sin embargo, el voltaje que normalmente se obtiene en la línea de alimentación eléctrica generalmente es menor. Esto ha llevado a que cualquier voltaje que esté entre 117 y 127 voltios se considera como un voltaje de operación normal para cualquier equipo. "Cuando el voltaje está por debajo de los 117 volts, entre 95 y 100, estamos hablando de un nivel bajo. Entre 135 o 140 volts, de un alto voltaje. Ambos casos afectan al buen funcionamiento y al tiempo de vida útil de nuestros equipos electrónicos". A estas variaciones se les conoce como disturbios eléctricos, siendo que podemos definir a los disturbios eléctricos como perturbaciones que se presentan en cualquier sistema eléctrico, los cuales no necesariamente reflejan la ausencia de tensión, sino que se manifiestan como

variaciones en la forma de onda de la tensión y que afectan el funcionamiento de los diversos tipos de equipos conectados al sistema, o en otras palabras, cualquier perturbación en los sistemas de energía eléctrica, que se manifiesta en desviaciones de las condiciones adecuadas de tensión, corriente o frecuencia, lo cual puede resultar en una falla o una mala operación de equipos. Estos disturbios pueden ser deformaciones en la onda, los cuales se llegan a presentar en magnitud o en frecuencia. En el primer caso se pueden encontrar tanto como sobre voltajes o como caídas de tensión, que a su vez se dividen en de corta y de larga duración. En el caso de la frecuencia se presentan con valores distintos al fundamental (60 Hz), ya sean mayores o menores.

### OBJETIVO(S)

Conocer las afectaciones en el funcionamiento de los equipos eléctricos de medición, por variación de voltaje en el suministro eléctrico.



## DESCRIPCIÓN DE LAS POSIBLES AFECTACIONES EN LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DE MEDICIÓN

Se le llama equipo de medición (potenciómetro, espectrofotómetro, microscopio, etc.), a cualquier equipo que requiera utilizar energía eléctrica para su funcionamiento.

Es una muerte silenciosa para los aparatos u equipos electrónicos porque no notamos una alteración o un cambio en su funcionamiento a simple vista. Sin embargo, 80% de los daños a los equipos eléctricos son ocasionados por los picos de voltaje, indicó el Ing. Gustavo Valdéz Vázquez, gerente de la empresa Tripp Lite, que se desempeña en la industria eléctrica y de iluminación.

En la actualidad sabemos que las variaciones no sólo afectan el funcionamiento de los equipos que se conectan a la red de suministro y a los que forman parte de la misma red, sino que además disminuyen el tiempo de vida útil de los elementos que los componen. Algunas de las afectaciones son:

- > Sobrecalentamiento de cables, conductores y transformadores.
- > Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores.
- > Errores en la medición.
- > Operación incorrecta de sistemas de protección.
- > Daño en elementos primarios del circuito eléctrico.
- > Daño bancos de capacitores de corrección de FP.
- > Daños en equipos sensibles.
- > Acortamiento de la vida útil de los equipos, entre otros.

Además, es importante mencionar, que una de las partes del equipo que indica una variación de voltaje, es la fuente luminosa, la cual presenta aumento o disminución de su capacidad luminosa, y en el caso de un espectrofotómetro, esta variación puede incidir en la lectura del parámetro.

En este caso es visible la percepción de variación de voltaje, pero en equipos que tienen tarjeta electrónica, también afectan los siguientes dispositivos: resistencias, fusibles, capacitores, transistores, diodos, etc. Estas variaciones de voltaje, dan como consecuencia fenómenos perturbadores: armónicos, interarmónicos, fluctuaciones de tensión, variaciones de frecuencia, entre otros que afectan el funcionamiento de los componentes de la tarjeta electrónica.

Ahora, algunos equipos traen protectores térmicos o fusibles, pero no garantizan que el equipo no se dañe, ya que en muchas oportunidades, tardan en actuar, o cumplir su función y es en ese momento cuando afecta a otros componentes o inclusive la tarjeta electrónica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuando el voltaje en los terminales de los equipos de utilización se desvía del valor de la placa de características del equipo, el rendimiento y la vida de operación del equipo quedan afectados. El efecto puede ser menor o serio dependiendo de las características del equipo y la cantidad de desviación de voltaje de la placa de características.

En el siguiente apartado se muestran algunos componentes que son afectados por la variación de voltaje, dichos componentes por ende al afectarse su funcionamiento derivan en una mala respuesta al equipo de medición.

### Lámparas incandescentes

La salida de luz y vida de las lámparas de filamentos incandescentes son críticamente afectados por el voltaje. La variación de vida útil y salida de luz con el voltaje viene dado por la siguiente figura.

Tabla 1, Vida útil de las lámparas incandescentes.

Voltaje aplicado (V)	Capacidad de la lámpara					
	120 V		125 V		130 V	
	Vida útil %	Luz %	Vida útil %	Luz %	Vida útil %	Luz %
105	575	64	880	55		
110	310	74	525	65	880	57
115	175	87	295	76	550	66
120	100	100	170	88	280	76
125	58	118	100	110	165	88
130	34	132	59	113	100	100

### Lámparas fluorescentes

La salida de la luz para los balastos magnéticos varía aproximadamente en proporción directa con el voltaje aplicado. Así, un 1 % de incremento en el voltaje aplicado incrementará la salida de luz en un 1 % y, a la inversa, una disminución del 1 % en el voltaje aplicado reducirá la salida de luz en un 1 %. La salida de luz de los balastos electrónicos

puede ser más o menos dependiente de la entrada de voltaje.

El componente sensible al voltaje de la composición fluorescente es el balasto. Es una pequeña reactancia, transformador, circuito electrónico, o combinación que suministra los voltajes de arranque y operación a la lámpara y limita la corriente de la lámpara a los valores de diseño. Estos balastos pueden sobrecalentarse cuando están sujetos a voltajes y temperaturas de operación por encima de lo normal, y pueden requerirse protecciones térmicas.

#### **Lámparas de descarga de alta intensidad (HID)** (mercurio, sodio y haluros metálicos).

Las lámparas de mercurio usando un balasto de reactancia típica tendrán un cambio del 12 % en la salida de la luz para un cambio del 5 % en el voltaje del terminal. Las lámparas HID pueden extinguirse cuando el voltaje terminal cae por debajo del 75 % del voltaje nominal. Un balasto de autotransformador de potencia constante producirá un cambio +/- 5 % en la potencia de la lámpara de mercurio o un cambio de +/- 10 % en las de haluros metálicos, cuando el voltaje de línea varía +/- 10 %.

#### **Procesos de calentamiento infrarrojos**

Aunque los filamentos en las lámparas usados en estas instalaciones son del tipo de resistencia, la salida de energía no varía con el cuadrado del voltaje debido a que la resistencia varía al mismo tiempo. La salida de energía varía ligeramente menos que el cuadrado del voltaje. Las variaciones del voltaje pueden producir cambios no deseados en el calor de proceso disponible a menos que se use un control termostático u otros medios de regulación.

#### **Dispositivos de calentamiento de resistencia**

La entrada de energía y, por lo tanto, la salida de calor de los calentadores de resistencia varían aproximadamente con el cuadrado del voltaje. Así una caída del 10 % en voltaje causará una caída aproximada del 19 % en la salida de calor.

#### **Condensadores**

La salida potencia reactiva de los condensadores varía con el cuadrado de la potencia. Una caída del 10 % en el voltaje de alimentación, por lo tanto, re-

duce la salida de potencia reactiva aproximadamente en un 19 %, y donde el usuario hace una inversión en condensadores para la mejora del factor de potencia, el usuario pierde el beneficio de casi el 20 % de esta inversión.

#### **Dispositivos operados por solenoide**

La energía extraída por solenoides AC varía aproximadamente con el cuadrado del voltaje. En general, los solenoides están diseñados para operar satisfactoriamente con un 10 % de sobre voltaje y 15 % de sub voltaje.

#### **Equipamiento de estado sólido**

Tiristores, transistores, y otros dispositivos de estado sólido no tienen calentadores termoiónicos. Por ello son tan sensibles a las variaciones de voltaje a largo plazo cuando los componentes del tubo de electrones son en gran medida reemplazados. Los reguladores de voltaje internos son frecuentemente proporcionados para equipos sensibles de forma independientes de la regulación del sistema de alimentación. Este equipamiento, además del de estado sólido, está generalmente limitado a los voltajes inversos pico, ya que pueden quedar afectados por voltajes anormales de duración (incluso de microsegundos). Un estudio individual del voltaje máximo del equipo, incluyendo las características surge, es necesario para determinar el efecto de voltaje de sistema máximo o si un voltaje anormalmente bajo dará como resultado un disfuncionamiento.

#### **Interrupciones cortas.**

Una interrupción ocurre cuando la fuente de tensión o la corriente de carga disminuyen a menos del 10% de los valores nominales por un periodo no mayor a un minuto. Son normalmente provocadas por una condición de falla del aislamiento después de una operación exitosa del equipo de restablecimiento. En la figura 1.1 se da un ejemplo gráfico de este fenómeno.

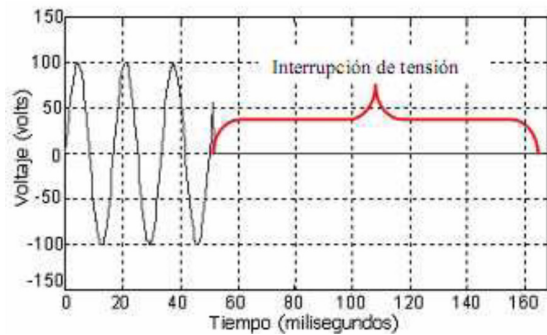


Figura 1.1. Señal de voltaje con interrupción de energía.

## CONCLUSIONES

Si la red eléctrica de alimentación utiliza 120 voltios pero cambia a 130, 100 o 90 voltios, se dice que hay una variación de voltaje. Cuando esto sucede, los equipos electrónicos se pueden quemar, así como la instalación eléctrica.

Las causas más comunes de una variación de voltaje son una mala instalación eléctrica y aparatos defectuosos. Otras causas que la originan son el uso de cableado inadecuado, como cables muy delgados y largos, conexiones mal hechas, contactos eléctricos desgastados o contactos múltiples usados en pocos contactos originales.

Entre más alta sea la corriente del voltaje y más resistencia tenga, más amplia es la variación. Éstas pueden ser de dos tipos: interna o externa; se dice que ocurrió una variación externa cuando se origina a nivel de la red, y una interna cuando ocurre dentro de la área de trabajo.

Las variaciones externas son más catastróficas, por lo que resultan más costosas; pero las variaciones internas son más comunes, por lo que a la larga el gasto que ocasionan es mayor.

Según un estudio realizado por proveedores de energía, el 20% de las variaciones de voltaje son externas y se originan por rayos, conmutadores o vientos. El 80% restante se genera adentro del edificio, casa o área de trabajo. Usualmente las variaciones internas se generan por motores, compresores, balastos, conmutadores, etcétera.

Las variaciones de voltaje internas alcanzan niveles bajos en comparación con las externas: solo algunos cientos de voltios. Por ello, quienes fabrican equipos de protección no se preocupan tanto por las internas pues se dedican más a la protección catastrófica.

Los aparatos que consumen mucha electricidad pue-

den ocasionar variaciones de voltaje al encenderlos. Asimismo, los aparatos modernos no consumen la energía de manera uniforme durante el ciclo de la corriente eléctrica, lo cual también puede ocasionar variaciones.

Para prevenir las variaciones tanto internas como externas, se recomienda instalar supresores de variaciones de voltaje o transitorios.

Esta investigación, nace de la inquietud de poder saber qué es lo que realmente afecta el funcionamiento de los equipos de medición, se considera que existen varios factores, mal uso, tiempo de vida, servicio de alimentación eléctrica, un equipo de medición resulta muy costosa su adquisición, pero más aún el poder repararlo, teniendo la posibilidad de prevenir que afecte cualquiera de los factores antes mencionados.

## AGRADECIMIENTOS

*Este artículo es el inicio de varios temas referentes a los mantenimientos preventivos y correctivos, además de las verificaciones de los equipos que se realizan en la FESC, como parte de los trabajos del equipo PROCEL.*

*Considero que el tema de electricidad, electrónica y todo lo referente al funcionamiento adecuado de los equipos electrónicos de medición, empieza con una calidad de voltaje de suministro, y que es muy amplio.*

## REFERENCIAS

- [1] IEE (1993). *IEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. IEEE Standard 141-1993.*
- [2] Facultad de Ingeniería de la UNAM (2018), *Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería UNAM, recuperado de [www.ptolomeo.unam.mx](http://www.ptolomeo.unam.mx)*
- [3] Quimobásicos (s.f.). *Blog. Recuperado de <https://blogquimobasicos.com/about/>*
- [4] Profeco (2018). *Brújula de compra de Profeco, Recuperado de [www.profeco.gob.mx](http://www.profeco.gob.mx).*
- [5] Corp New Line (2018). *Variaciones de voltaje, recuperado de <https://www.corpnewline.com/variaciones-de-voltaje.htm>*
- [6] Tipos.co (2018). *Tipos de corriente. Recuperado de <http://www.tipos.co/tipos-de-corriente/>*

## "ESTUDIO DE DESHIDRATACION TÉRMICA DE LODOS PARA SU POSTERIOR USO EN COMPOSTAJE"

Brenda Berenice Flores Arellano<sup>2</sup>, Alejandra Guadalupe Villegas Pañeda<sup>1</sup>,  
Leidy Rubi Pérez Vera<sup>1</sup>, Octavio Trejo Chavero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Tecnología Ambiental, Unidad de Investigación Multidisciplinaria, FES Acatlán, UNAM  
<sup>2</sup>Ingeniería Ambiental, Tecnológico de Estudios Superiores Coacalco

### RESUMEN

El lodo residual es un producto ineludible del tratamiento de agua. Su disposición exige un proceso previo de deshidratación y estabilización. La deshidratación térmica es una operación común para reducir el contenido de humedad del lodo y es un proceso crítico para la obtención de un material que funcione como sustrato para su estabilización mediante compostaje. Se realizó un estudio de deshidratación térmica del lodo de la PTAR FES Acatlán y se determinó el efecto de la temperatura de secado sobre el contenido de materia orgánica en el producto. Se efectuó además una caracterización fisicoquímica y biológica parcial del lodo crudo para definir su potencial aprovechamiento como abono orgánico.

**PALABRAS CLAVE:** Deshidratación térmica, lodo residual, curva de secado.

### ANTECEDENTES

El lodo residual se origina como producto secundario inevitable del tratamiento de aguas residuales [1]. Es una mezcla sólido-líquido compleja la cual contiene microorganismos patógenos y materia particulada, coloidal y orgánica peligrosa [2]. En México, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) clasifica los lodos como residuos sólidos de manejo especial (RME) [3]. Si éstos no son dispuestos adecuadamente, se convierten en un contaminante secundario en el ambiente.

La disposición de lodos residuales involucra su deshidratación y posterior estabilización. Como primera fase, el secado térmico es una técnica que consiste en el uso de energía para la deshidratación del material con el objetivo de reducir su volumen y masa, para obtener un producto estable y parcialmente higienizado, el cual tenga la posibilidad de ser valorizado energéticamente o mediante su reutilización agrícola [4].

El abono obtenido después del compostaje del lodo deshidratado es una enmienda orgánica idónea para los cultivos agrícolas y la jardinería; aporta materia orgánica y macronutrientes, favorece la retención de agua en el suelo y aumenta la porosidad del mismo, cualidades importantes para revertir la desertización del suelo y mantener la riqueza y la capacidad de producción agrícola [5].

El lodo residual dispuesto para su estabilización mediante compostaje demanda condiciones físicas y químicas adecuadas para su biotransformación. El control de la humedad es un factor importante para garantizar un proceso eficiente, favorecer la actividad metabólica microbiana, la inactivación de patógenos, el control de olores y la calidad de la composta [6]. La humedad óptima para el compostaje se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas. Si la humedad baja del 45%, disminuye la actividad microbiana, evitando que se completen todas las fases de degradación, causando que el

producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material [7]. Por otro lado, el contenido de materia orgánica en el sustrato es un parámetro importante que definirá la calidad final del abono y su capacidad como enmendante de suelos. La cantidad de material orgánico que contenga el sustrato determinará el total de humus, materia orgánica estable asimilable en el suelo, producido por la descomposición microbiana [7].

La deshidratación del lodo residual es una etapa crítica en la obtención de un sustrato para compostaje que contenga una humedad en el intervalo de 50 a 60% y enriquecido con materia orgánica (< 40%). En el presente trabajo se estudió la cinética de secado térmico del lodo, previa caracterización parcial del mismo, y se evaluó el efecto de diversas temperaturas de secado sobre el contenido de materia orgánica del producto.

## OBJETIVO

Evaluar el efecto de la temperatura de secado térmico en el contenido de materia orgánica de lodo residual de la PTAR FES Acatlán y realizar una caracterización parcial del lodo crudo.

## PARTE EXPERIMENTAL

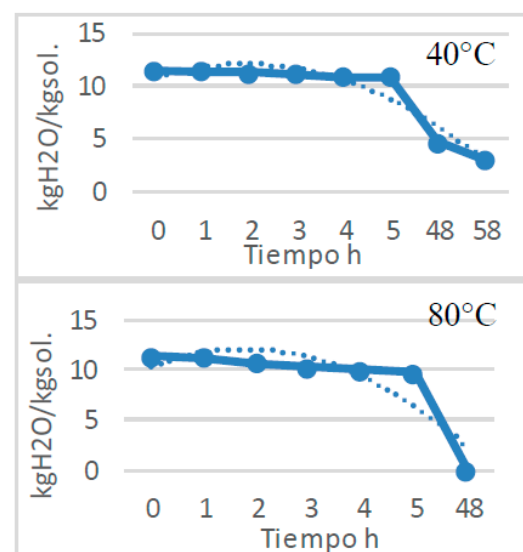
Se obtuvo una muestra de lodo secundario de la PTAR de la FES Acatlán. La caracterización parcial del material se realizó mediante la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se describen en la Tabla 1. El secado térmico del material crudo se evaluó a las temperaturas siguientes: 40, 80, 100, 150 y 200°C, se emplearon 50g de lodo con un espesor de capa de 30 mm, en charolas de aluminio. Se empleó un horno de convección forzada marca VWR. Se pesó el material cada hora hasta sequedad. El contenido de materia orgánica de los lodos deshidratados se determinó por el método de ignición. Los experimentos de deshidratación térmica y la determinación de los parámetros de caracterización se realizaron por duplicado

**Tabla 1.** Caracterización parcial del lodo residual

Parámetro	Método
<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	
Temperatura	
Humedad	Gravimetría
pH	Potenciometría
Densidad	Gravimetría
Acidez	Volumetría
Alcalinidad	Volumetría
<b>Biológicos</b>	
<i>Salmonella-Shigella</i>	Medio de cultivo selectivo (Cualitativo)
Huevos de helminto	Microscopía
<i>Escherichia coli</i>	Cuenta simple
Coliformes totales	Neofilm ® (Cuantitativo)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El lodo crudo tiene una consistencia líquida con un contenido de humedad de 92% m/m. Se muestra en la Tabla 2 los resultados de su caracterización parcial. La Figura 1 muestra las curvas características de deshidratación del lodo a las temperaturas experimentales descritas. El modelo de cinética de secado se obtuvo al considerar, en cada caso, la línea de tendencia con el mejor ajuste a la curva de secado que está representada por el cambio en el contenido de humedad (base seca), respecto al tiempo. Los modelos de secado obtenidos se ajustan a ecuaciones polinómicas y son adecuados para describir un secado por convección de lodo en capas de 30 mm de grosor.



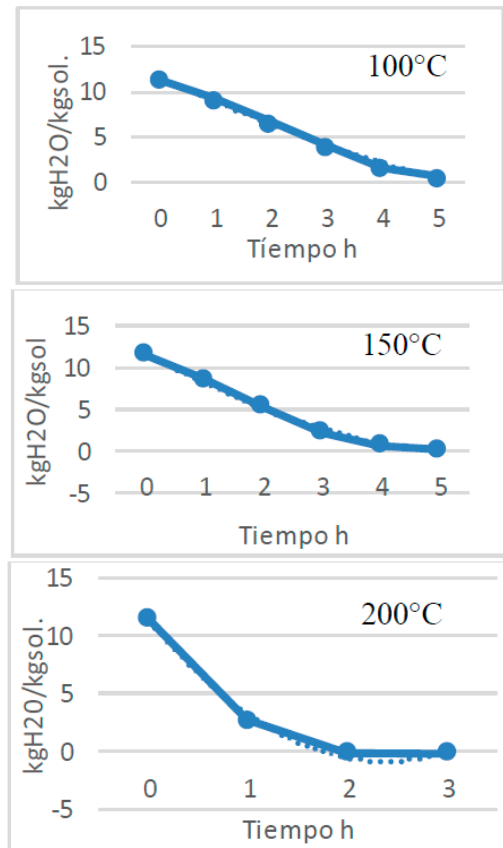


Figura 1. Curvas características de secado

Tabla 2. Ecuaciones de secado y R<sup>2</sup>

Barridos	Ecuaciones de secado	R <sup>2</sup>
40°C	$y = -0.3543x^2 + 2.0649x + 9.1352$	0.897
80°C	$y = -0.5484x^2 + 3.0329x + 7.9433$	0.781
100°C	$y = 0.1049x^2 - 2.9729x + 14.426$	0.993
150°C	$y = 0.3254x^2 - 4.6613x + 16.179$	0.992
200°C	$y = 2.1921x^2 - 14.727x + 23.874$	0.995

Las características del lodo de la PTAR de FES Acatlán se describe en la Tabla 3. Su alto contenido en materia orgánica y el pH que exhibe son factores importantes para proponer su aprovechamiento como enmendante de suelos, previa deshidratación y disminución de la carga microbiana, mediante un proceso de estabilización, como el compostaje.

Tabla 3. Características del lodo

Parámetro	Valor
<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	
Temperatura	25°C
Humedad	92%
pH	7.43
Materia Orgánica (secado a 60°C)	65%
Densidad	1.00 g/mL (25°C)
Acidez (como CaCO <sub>3</sub> )	410 mg/L
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	131 mg/L
<b>Biológicos</b>	
<i>Salmonella-Shigella</i>	Presencia
Huevos de helminto	1 huevo/ mL
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	209 000
<i>Coliformes totales</i> (UFC/100 mL)	634 000

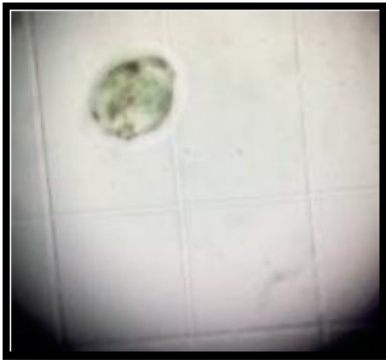
El contenido de materia orgánica después de cada experimento de secado (40, 80, 100, 150 y 200°C) se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Contenido de materia orgánica

Temperatura:	M.O
40°C	65 %
80°C	59 %
100°C	61 %
150°C	38 %
200°C	42 %

El secado a 40°C, mantiene el total del contenido de materia orgánica del lodo, sin embargo, tiene la desventaja de extender el tiempo de secado y, por lo tanto, aumentar el gasto energético requerido. La deshidratación a 80°C y 100°C produjo una pérdida de materia orgánica del 6 al 9%, mientras que el secado a 150°C y 200°C promueve la pérdida de entre 35 y 42%.

La condición óptima de secado térmico del lodo crudo por convección corresponde a una temperatura desde 80 a 100°C. Este intervalo de temperatura garantiza un contenido de materia orgánica superior al 40% y un tiempo máximo de deshidratación de 5 horas para la obtención de un material con contenido de humedad de 60% m/m, para capas de lodo de 30 mm.



**Figura 2.** Cuantificación de huevos de helminto por microscopía.



**Figura 3.** Cuenta simple de Coliformes totales y Escherichia coli.

## CONCLUSIONES

Se desarrollaron experimentos de secado térmico por convección de lodo crudo de la PTAR FES Acatlán a 5 temperaturas. Se determinó que condiciones de temperatura superiores a 150°C promueven la pérdida sustancial de materia orgánica en el lodo, lo cual disminuiría su potencial como sustrato para abono orgánico. El intervalo efectivo de deshidratación térmica por convección corresponde a temperaturas entre 80 y 100°C para acelerar la cinética del proceso y conservar un alto contenido de materia orgánica en el material lo cual producirá un sustrato conveniente para su transformación en abono orgánico.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Programa de Apoyo a la Investigación para el Desarrollo y la Innovación (PAIDI-002/2018) por el apoyo económico recibido y a la Dra. María Teresa Torres Mancera por su apoyo en el análisis biológico del lodo.

## REFERENCIAS

- [1] Hassebrauk M., Ermel G. (1996). Two examples of thermal of sewage sludge. *Water Science Technology*, 33 (12), 235-242.
- [2] Zhixi D., Minhua Su, Gwodong W. (2008). Direct thermal drying of sludge using flue gas and its environmental benefits. *Drying technology*, 36, 1006-1016.
- [3] Diario Oficial de la Federación (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR).
- [4] Huerta, O., Soliva, M. (2004). Compostaje de lodos resultantes de la depuración de aguas. Recuperado desde [http://mie.esab.upc.es/ms/recerca\\_experimentacio/articulos\\_ESAB/Compostaje%20lodos.pdf](http://mie.esab.upc.es/ms/recerca_experimentacio/articulos_ESAB/Compostaje%20lodos.pdf)
- [5] Conesa, J. A. (s. f.) Lodos de depuración. Secado térmico y valorización energética. Recuperado de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36058/1/Secado\\_valorizacion\\_lodos\\_RUA.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36058/1/Secado_valorizacion_lodos_RUA.pdf)
- [6] Sanchez, M. V., Mendoza, J. A. (2012). Evaluación fisicoquímica y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en elaboración de compost. Tesis de Doctorado en Ingenierías, Universidad de El Salvador.
- [7] Román P., Martínez M., Pantoja A. (2013) Manual de compostaje del agricultor, Experiencia en América Latina, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

## PROPUESTA DE UN BIOPROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE QUITOSANO A PARTIR DE LOS DESECHOS DE CAMARÓN.

Ana María Sixto Berrocal<sup>1</sup>, María Aurora Martínez Trujillo<sup>1\*</sup>, Martín Rogelio Cruz-Díaz<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico de Estudios Superiores Ecatepec

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México

\*[amartinezt@tese.edu.mx](mailto:amartinezt@tese.edu.mx), \*\*[cdmrmartin@hotmail.com](mailto:cdmrmartin@hotmail.com)

### RESUMEN

En el procesamiento del camarón se elimina una cantidad significativa de residuos sólidos conformados de porciones de cabeza, caparazón y cola. Estos desperdicios contienen proteína, minerales, lípidos, pigmentos y quitina, muchos de ellos son compuestos de interés en la industria, debido a la variedad de aplicaciones con las que cuentan. El método más común para su recuperación a partir de los residuos de la cáscara de camarón consta de dos etapas: la desmineralización y la desproteínización, en el que se usan ácidos y bases fuertes. Sin embargo, estos procesos causan contaminación y pueden afectar las propiedades de los elementos, tales como el peso molecular, la viscosidad y el grado de desacetilación. Por lo que una alternativa es utilizar una fermentación microbiológica mediante el uso de bacterias lácticas para la desmineralización, desproteínización y desacetilación y la concomitante obtención de quitina y quitosano. El presente trabajo presenta una propuesta para llevar a cabo un bioproceso para la obtención de quitina y quitosano a partir de los residuos de la cáscara de camarón.

**PALABRAS CLAVE:** quitina, quitosano, desmineralización, desproteínización, desacetilación, bacterias lácticas, fermentación.

### ANTECEDENTES

La quitina es un polisacárido heterogéneo lineal que se obtiene principalmente del exosqueleto de crustáceos industrialmente procesados, tales como langosta, cangrejo y camarón; es el más abundante y renovable recurso natural después de la celulosa. Al contrario de los derivados del petróleo, la quitina y quitosano se obtienen de los subproductos de las industrias pesqueras, fuente naturalmente renovable, no tóxica y no alergénica; además, antimicrobiana y biodegradable. La quitina (β-(1-4) N-acetil-D-glucosamina) es un biopolímero que consiste en una cadena lineal de unidades de N-acetil glucosamina, que están unidas entre sí con enlaces β-1,4, de la misma forma que las unidades de glucosa componen la celulosa (Figura 1), es altamente insoluble en agua, propiedad que limita sus aplicaciones; se disuelve rápidamente en ácidos concentrados, en algunos

fluoroalcoholes y soluciones al 5% de cloruro de litio, lo que la hace poco práctica para su aplicación y presenta baja reactividad. Otras propiedades relevantes de este biopolímero son su alto peso molecular y su estructura porosa, que favorece una elevada absorción de agua [1-5].

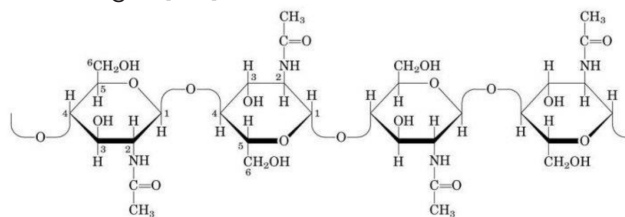


Figura 1. Estructura química de la quitina [6]

El quitosano es la forma N-desacetilada de la quitina (Figura 2), y posee mejores propiedades de reactividad y solubilidad. Se obtiene al sustituir los grupos acetamido de esta por grupos amino, al tratar la qui-



tina con álcalis fuertes. Se ha descrito como un polímero catiónico lineal, biodegradable, de alto peso molecular, de fácil aplicación y ambientalmente amigable [6].

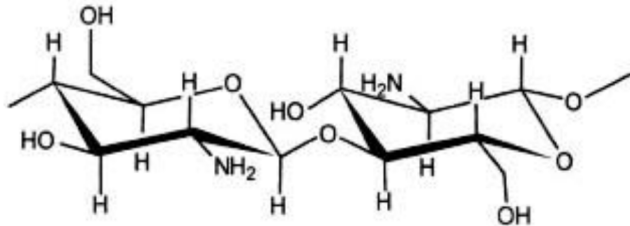


Figura 2. Estructura química del quitosano [6].

## OBTENCIÓN DE QUITINA Y QUITOSANO

**Proceso Químico.** La obtención de la quitina en la industria a partir de crustáceos generalmente se lleva a cabo mediante procesos químicos sucesivos de desproteización en medio alcalino, desmineralización en medio ácido, y blanqueo mediante agentes decolorantes. Las proteínas se extraen generalmente con la ayuda de soluciones alcalinas de NaOH o KOH, aunque también se han utilizado soluciones de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{CaHSO}_3$  y  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . La efectividad de la desproteización depende de la temperatura, la concentración del álcali y la proporción del desecho.

En el caso de la desmineralización, el objetivo es la solubilización del carbonato de calcio. Para ello se han utilizado diferentes ácidos fuertes (como HCl,  $\text{HNO}_3$  o  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) o débiles ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{HCOOH}$ ). Las concentraciones evaluadas varían desde 0.2M a 6 M a temperaturas de  $-20^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$  [5,6].

El blanqueo de la quitina solo se realiza cuando es indispensable tener un producto completamente puro, ya que el pigmento no afecta la influencia del comportamiento del polímero en solución, su reactividad o propiedades fisicoquímicas. Por lo general para el blanqueo se utilizan soluciones de hipoclorito de sodio, acetona absoluta, cloroformo, peróxido de hidrógeno, acetato de etilo, etanol o una mezcla de ellos [5-7].

Una de las grandes desventajas del método de purificación química de la quitina es el alto consumo de agua y energía, además de la producción de desechos corrosivos de ácido y álcali que contaminan

el ambiente y tienen que ser tratados; además de que puede producir una fuerte degradación del polímero. Otra desventaja es que las proteínas extraídas mediante estos métodos no pueden ser reutilizadas para consumo de animales. La obtención de quitosano a partir de la quitina extraída se lleva a cabo por medio de la desacetilación: mediante una hidrólisis de los grupos acetamidos, se pasa de un grupo amido a uno amino. La reacción de hidrólisis se lleva a cabo utilizando un álcali (NaOH). El método químico de desacetilación del quitosano presenta tres importantes desventajas: 1) consume considerables cantidades de energía, 2) desperdicia altas concentraciones de soluciones alcalinas y 3) los productos finales presentan diversos pesos moleculares con heterogénea disposición de grupos acetilados en la molécula, dependiendo del tipo de desacetilación química aplicada.

Se han propuesto diferentes procesos biotecnológicos para eliminar las proteínas y el calcio de la cáscara de camarón, lo cual puede ofrecer una nueva perspectiva para la producción de quitina y quitosano a partir de este desecho.

El uso de las bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* spp B2, *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus pentosus* 4023) por medio de la fermentación ácido láctica genera las enzimas proteolíticas encargadas de la desproteización; además de que produce ácido láctico provoca la disminución del pH, generando las condiciones para la desmineralización.

También se ha reportado el uso de bacterias no lácticas (*Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa* K187 y *Pediococcus* sp), que producen ácidos orgánicos y enzimas proteolíticas para desmineralizar y desproteizar la cáscara de camarón. Los procesos de desmineralización y desproteización generalmente ocurren simultáneamente; y el porcentaje de remoción de los compuestos varía de acuerdo al tipo de cepa utilizada (75-95% de proteína y 44-87% de minerales) [1,5].

Considerando los rendimientos obtenidos con los tratamientos biológicos, la cáscara tratada de esta manera requiere al final de un tratamiento químico suave. El beneficio radica en que el tratamiento final involucra menos gasto de compuestos químicos recalcitrantes [5].

Finalmente, la obtención de quitosano a partir de quitina se lleva a cabo mediante la desacetilación de la quitina. Esto se logra generalmente mediante procesos químicos. Sin embargo, para el tratamiento biológico se ha reportado el uso de quitin desacetilasas microbianas con buenos rendimientos.

## OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo es proponer una estrategia para integrar las etapas biológicas de desproteización, desmineralización y desacetilación de los desechos de camarón para la obtención de quitosano, haciendo uso de bacterias ácido lácticas.

## METODOLOGÍA

**Desechos de camarón.** Los desechos de camarón (cabeza, tórax y cola) se secarán a temperatura ambiente y triturarán hasta obtener un tamaño de partícula de 1 mm aproximadamente.

**Preparación del inóculo.** Para este estudio se propone el uso de seis cepas de diferentes bacterias, las cuales se mantendrán en agar Man Rogosa Sharpe (MRS) mediante resiembra periódica. Para la generación del inóculo, una asada de la cepa correspondiente se agregaron a un matraz con MRS y se incubaron a 40 °C por 24 h y 200 rpm. Medios de cultivo. Se utilizarán dos formulaciones de medio de cultivo, mismas que se describen a continuación:

Medio MRS: Glucosa 2 g, peptona 1.0 g, extracto de levadura 0.5 g, extracto de carne 1.0 g, citrato de amonio 0.2 g, MgSO<sub>4</sub> 0.01 g, MnSO<sub>4</sub> 0.005 g, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>NaO<sub>2</sub> 0.5 g, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 0.2, tween 80 0.1 g y agua destilada 100 ml.

Medio mínimo: Glucosa 3.3 g, extracto de levadura 1.1 g, (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0.22 g, MnSO<sub>4</sub> 0.01 g en 100 ml de agua destilada (Bautista, 2017).

Para conocer la concentración de bacteria contenida en el cultivo se realizarán curvas patrón, que relacionen la densidad óptica a 640 nm (DO) con la concentración de biomasa, estimada por peso seco. Todos los experimentos se inocularán con el 10% (v/v) del inóculo debidamente diluido para agregar 1 g/l de biomasa

Para analizar los procesos de desproteización

y descalcificación por bacterias lácticas y la posterior desacetilación, se desarrollará por separado la fermentación con los diferentes cepas en experimentos a nivel matrazn, manteniendo constante la agitación (200 rpm), la composición del medio de cultivo (medio mínimo) y la temperatura de incubación (40°C); y se variará el porcentaje de desechos de camarón y la concentración de la fuente de carbono. Con estos experimentos se analizará la producción proteasas y ácido láctico a lo largo del cultivo.

Se analizará la producción de desacetilasas con distintas cepas de *Aspergillus* utilizando cáscara de camarón sin pretratamiento. Para ello, primero se identificará la cepa que produce la mayor cantidad de estas enzimas y luego se optimizarán los cultivos para obtener altas producciones de desacetilasas. Por último, se aplicará el tratamiento enzimático a la quitina obtenida luego de la desacetilación y desproteización de la cáscara de camarón.

### Técnicas analíticas.

Las muestras provenientes de los cultivos se centrifugarán, para separar las fases sólida (cáscara de camarón) y líquida (sobrenadante).

**Sólidos.** El contenido de cenizas y humedad de la cáscara de camarón se determinará de acuerdo a los métodos estándar AOAC, y el contenido total de proteína se determinará por el método Kjendahl.

**Sobrenadante.** Se empleará el método Bradford, para cuantificar la proteína. La cuantificación del ácido láctico producido se hará por espectrofotometría, siguiendo la metodología propuesta por Borshchevskaya [9]. El cambio del pH se estimará con la ayuda de un potenciómetro. La actividad proteolítica se cuantificará mediante la técnica propuesta por Castro y Sato [10]. La concentración de glucosa a lo largo de la fermentación se estimará con el reactivo DNS [11].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicialmente se trabajó con dos cepas: *L. delbruekii* y *B. coagulans*, para obtener ácido láctico. Con el crecimiento de ambas cepas se buscaba las condiciones para conseguir la máxima desproteización y desmineralización de cáscara de camarón.

Para determinar estas condiciones se midió el pH, la cantidad de ácido láctico y proteasas producidas, así como el consumo de glucosa. Cabe mencionar que para esta fase experimental se probó primero el efecto de la concentración de glucosa sobre la producción de proteasas por *Bacillus coagulans*, obteniendo que con 10 g/L es donde se obtiene el mayor consumo de sustrato (100 %) y una adecuada producción de biomasa (2.8 g/L), aunque se obtuvieron apenas 0.5 U/ml de proteasas.

Posteriormente se analizó si la producción de proteasas podía mejorar en la presencia de cáscara de camarón. Así, en este segundo experimento se desarrollaron experimentos en donde se utilizaron 10 g/L de cáscara de camarón y se varió la concentración de glucosa (1, 5 y 10 g/L). En este caso se obtuvo que la producción de enzimas proteolíticas aumenta con la presencia de cáscara de camarón, y la mayor producción de proteasas (8.5 U/ml) se obtuvo en la combinación 10:5 cáscara de camarón:glucosa.

A partir de los resultados obtenidos en los experimentos preliminares, se trabaja ahora en la identificación de una cepa ácido-láctica que produzca una mayor cantidad de proteasas. Para ello se consiguieron 4 cepas: *Howaru bifido* LYD, *Howaru rhamnosus* LYD, *L. rhamnosus* -32200 B y *L. acidophilus* 200B.

Con estas cepas se replicaron los experimentos en los que se obtuvo la mayor producción de proteasas por *B. coagulans*. Se obtuvo que *Howaru bifido* LYD produce 10.4 U/ml proteasas, es decir un 20 % más que la producción obtenida con *B. coagulans*. Sin embargo, la producción de ácido láctico con esta misma cepa es baja (3 g/L). Debido a lo anterior, esta cepa será usada solo para el proceso de desproteinización de la cáscara de camarón, y en principio tendrá que seguir interactuando en la fermentación con *L. delbrueckii*, que será el encargado de la desmineralización.

El proceso que se ha propuesto para la obtención de quitina y quitosano se describe en la figura 3.

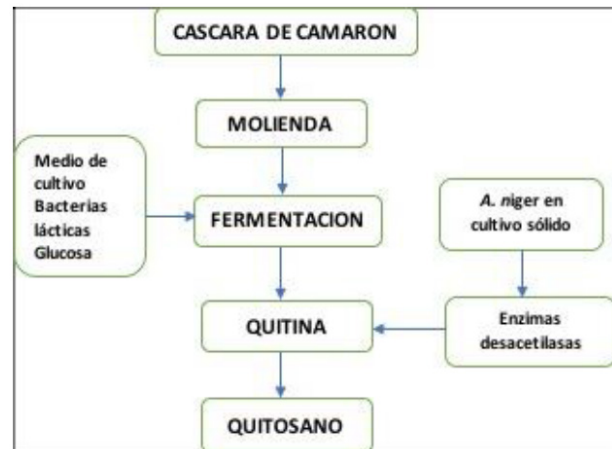


Figura 3. Proceso biológico para la obtención de quitosano

## CONCLUSIONES

Con este estudio se pretende obtener una o más bacterias lácticas que mediante el proceso de fermentación, a partir de la descomposición de glucosa, produzcan ácido láctico y proteasas; con esto se busca llevar a cabo la desmineralización y desproteinización de la cáscara de camarón para obtener quitina. Adicionalmente se buscará, de entre una variedad de cepas del género *Aspergillus* con las que contamos en el laboratorio, aquella que genere extractos enzimáticos que favorezcan el proceso de desacetilación, para la obtención de quitosano.

## REFERENCIAS

- [1] Cira L. A., Huerta, S., Hall, G. M., Shirai, K. (2002). Pilot scale lactic acid fermentation of shrimp wastes for chitin recovery. *Process Biochemistry*, 37, 1359-1366.
- [2] Manni, L., Ghorbet-Bellaaj, O., Jellouli, K. (2010). Extraction and Characterization of Chitin, Chitosan, and Protein Hydrolysates Prepared from Shrimp Waste by Treatment with Crude Protease from *Bacillus cereus* SV1. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 162, 345-357.
- [3] Younes, I., Hajji, S., Frachet, V., Rinaudo, M., Jellouli, K., Nasri, M. (2014). Chitin extraction from shrimp shell using enzymatic treatment. Antitumor, antioxidant and antimicrobial activities of chitosan *International Journal of Biological macromolecules*, 69, 489-498.

- [4] Pacheco, N., Garnica-Gonzalez, M., Gimeno, M., Bárzana, E., Trombotto, S., David, L., and Shirai, K. (2011). Structural characterization of chitin and chitosan obtained by biological and chemical methods. *Biomacromolecules*, 12, 3285-3290.
- [5] Arbia, W., Arbia, L., Adour L., and Amrane, M. (2013), Chitin Extraction from Crustacean Shells Using Biological Methods—A Review. *Food Technology and Biotechnology*, 51(1), 12-25.
- [6] Marmol, Z., Paez, G., Arujo, K., Aiello, C., Chandler, C., Gutierrez, E. (2011). Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*, 53-58.
- [7] Escobar, D. M., Ossa, C. P., Quintana, M. A., Ospina, W. A. (2013). Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos. *Scienza et Technica*, 18(1), 260-266.
- [8] Bautista. K. (2017). Sacarificación por hidrólisis enzimática de cáscara de plátano para la producción de ácido láctico. Tesis de Maestría no publicada, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Estado de México, México.
- [9] Borshchevskaya, L. N., Gordeeva, T. L., Kalinina, A. N., and Sineokii, S. P. (2016). Spectrophotometric Determination of Lactic Acid. *Journal of analytical chemistry*, 71(8), 755-758.
- [10] Castro, R. J. S, Nishide, T. G., Sato, H. H., (2014). Production and biochemical properties of proteases secreted by *Aspergillus niger* under solid state fermentation in response to different agroindustrial substrates. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(3), 236-245.
- [11] Miller, G.L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428.

## IDENTIFICACIÓN DE UNA BACTERIA ACIDO LÁCTICA PRODUCTORA DE PROTEASAS PARA LA DESPROTEINIZACIÓN DE CÁSCARA DE CAMARÓN

Kassandra De Jesús García<sup>1</sup>, María Aurora Martínez Trujillo<sup>1\*</sup>, Martín Rogelio Cruz-Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico de Estudios Superiores Ecatepec,

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México

\*[amartinezt@tese.edu.mx](mailto:amartinezt@tese.edu.mx), \*\*[cdmrmartin@hotmail.com](mailto:cdmrmartin@hotmail.com)

### RESUMEN

En este trabajo se tomó como punto de partida la producción de proteasas por *B. coagulans* inoculado en medio mínimo, probando diferentes fuentes de carbono (glucosa y sacarosa), para así identificar con cuál se obtiene una mayor cantidad de proteasas. Definiendo la fuente de carbono a utilizar se realizó la experimentación a diferentes concentraciones de glucosa, para así llegar a un resultado óptimo. Posteriormente se hicieron cultivos sobre cáscara de camarón y glucosa, donde se observó que en la relación de 10 g/L de cáscara de camarón y 5 g/L de glucosa la actividad de proteasas se incrementa hasta 8 U/ml. Finalmente se utilizaron distintas cepas ácido lácticas, identificando a *H. bifido* como la cepa capaz de producir una actividad proteolítica 20 % mayor que la obtenida con *B. coagulans*, con lo que será posible llevar a cabo la desproteínización de la cáscara de camarón en 24 horas.

**PALABRAS CLAVE:** Proteasas, cepas lácticas, cascara de camarón, fuentes de carbono, concentración de biomasa.

### ANTECEDENTES

La cáscara de camarón y otros crustáceos contiene principalmente quitina, que se puede convertir en quitosano mediante diversos procesos químicos o biológicos [1]. El quitosano tiene diversas e importantes aplicaciones comerciales, y el proceso para su obtención ha tenido avances en los últimos años. La metodología más utilizada para recuperar este polímero es mediante el procesamiento químico, cuya principal desventaja radica en la contribución a la contaminación ambiental por el uso de sustancias químicas reactivas [2]. Por lo anterior, se han estado buscando estrategias que permitan disminuir la contaminación que causa el procesamiento químico de los desperdicios de la cáscara de camarón. La alternativa más viable ha sido el método biológico en el que la cáscara se somete a fermentación con bacterias, que se encargan de producir

proteasas para eliminar la proteína de la cáscara, y ácido láctico, cuya función será descalcificarla [3]. En lo que respecta a la producción de proteasas, se han buscado diversas alternativas, que implican el uso de bacterias como *Pseudomonas aureoginosa* o *Serratia marcescens*, pero considerando la patogenicidad de estas especies, el interés ha recaído en el empleo de bacterias lácticas.

### OBJETIVOS

Con base en lo anterior, el objetivo general del presente trabajo fue identificar una cepa bacteriana capaz de producir una elevada actividad proteolítica para emplearla en la desproteínización de la cáscara de camarón.

## METODOLOGÍA

### Cepas.

En este trabajo se utilizaron las cepas *Bacillus coagulans*, Howaru Bifido LYO (Danisco), Howaru Rhamnosus LYO (Danisco), *L. rhamnosus*-32 200B (Danisco), *L. acidophilus* 141 200B (Danisco). Luego de activar las cepas en solución salina (NaCl al 0.9 % v/v), estas se sembraron en agar MRS y se incubaron a 40 °C durante 24 h. Estas se mantienen en refrigeración, bajo resiembras periódicas.

### Medios de cultivo

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó el medio mínimo, que contenía 10 g/L de extracto de levadura, 2 g/L de fosfato de amonio y 0.1 g/L de sulfato de Mn. El valor del pH del medio se se ajustó a 7.0 mediante la adición de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M.

Cultivos por lote para la producción de proteasas por las distintas cepas bacterianas.

Se tomó como punto de partida la producción de proteasas por *B. coagulans*, comparando el comportamiento de esta cepa en el medio mínimo con 10 g/L glucosa o sacarosa luego de 48 h de incubación a 40 °C y 200 rpm.

En la siguiente fase experimental se analizó si la concentración de glucosa tendría un efecto en la producción de proteasas. Para ello se hizo crecer a *B. coagulans* en glucosa a diferentes concentraciones (10, 20, 30, 50 y 70 g/L), para cuantificar la producción de proteasas y la biomasa obtenida en cada caso luego de 48 h de incubación a 40 °C y 200 rpm.

Posteriormente, se realizaron cultivos que contenían 10 g/l de cáscara de camarón y diferentes concentraciones de glucosa (1, 5 y 10 g/L), muestreando periódicamente. Estos experimentos se incubaron durante 48 h a 40 °C y 200 rpm, y a cada muestra se le cuantificó la producción de proteasas y el consumo de sustrato.

Finalmente, se replió el experimento desarrollado con cáscara de camarón y la concentración de glucosa con la que se obtuvo la mayor producción de proteasas, pero ahora inoculando las unidades experimentales con las diferentes cepas de bacterias lácticas. Luego de incubar a 40 °C y 200 rpm por 48 h, se analizó la evolución del cultivo respecto a la producción de proteasas.

### Técnicas analíticas.

La biomasa de las muestras provenientes de los cul-

tivos de *B. coagulans* se estimó mediante densidad óptica a 640 nm. Estos valores se compararon con la curva patrón de esta cepa, en la que se relacionaba la concentración de biomasa (estimada por peso seco) con la densidad óptica correspondiente. La concentración de glucosa en el sobrenadante se cuantificó con DNS [4]. La actividad de proteasas se analizó mediante el método descrito por Castro et al. [5], disminuyendo el tiempo de reacción a la mitad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se probó el efecto de la fuente de carbono sobre la producción de proteasas por *B. coagulans*. En sacarosa se obtuvo una producción de 0.175 U/ml de proteasas y el consumo de sustrato fue de 0.36 g/L; mientras que en glucosa se obtuvieron 0.35 U/ml de proteasas y un consumo de sustrato de 4.61 g/L. Con estos resultados se determinó que la glucosa es la mejor fuente de carbono para la producción de proteasas.

El siguiente experimento consistió en identificar la concentración de glucosa con la que se obtendría la mayor producción de proteasas. En la figura 1 se puede observar que la producción de proteasas se incrementó a mayores concentraciones de glucosa, obteniéndose la máxima producción en 50 g/L. Sin embargo, la concentración de biomasa disminuyó considerablemente en esa concentración de glucosa. Cuando se estimó el consumo de la fuente de carbono, se observó que este fue total solo en el experimento que contenía 10 g/L de glucosa; en tanto que, en el resto de los experimentos dicho consumo fue máximo de 50%, mismo que disminuía a mayores concentraciones de glucosa. Por lo anterior, se decidió utilizar en los siguientes experimentos una concentración de glucosa de 10 g/L.

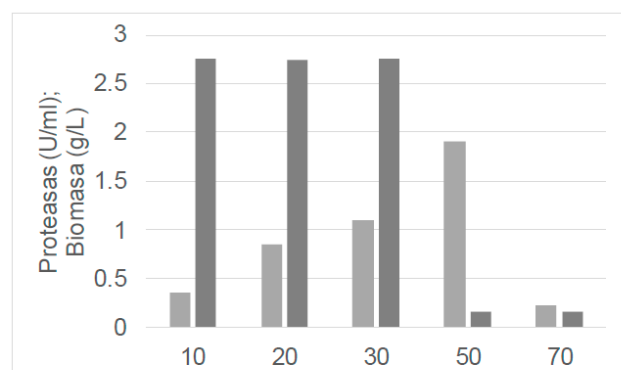


Figura 1. Producción de proteasas (■) y biomasa (■) de *B. coagulans* creciendo en distintas concentraciones de glucosa en g/L.

Posteriormente, se probó si la producción de proteasas se incrementaba al hacer crecer a la cepa con cáscara de camarón. Para ello, se utilizaron distintas combinaciones de cáscara con glucosa. En la figura 2 se muestra la producción proteolítica de *B. coagulans* creciendo en un medio con 10 g/L de cáscara de camarón a diferentes concentraciones de glucosa (1, 5, y 10 g/L). Es posible observar que la producción de proteasas se incrementa en comparación con la obtenida en el medio que contenía solo glucosa. Por otro lado, la mayor producción de esta enzima se observó cuando el medio contenía 5 g/L de glucosa. Sin embargo, la mayor producción de esta enzima se observó cuando el medio contenía 5 g/L de glucosa. Sin embargo, la concentración de biomasa fue mayor cuando se utilizaron mayores concentraciones de glucosa. En este caso se observó que el consumo total de la fuente de carbono se obtuvo tanto en 5 y 10 g/L. Por lo tanto, se decidió utilizar el resultado que mejor se obtuvo en la producción de proteasas, que en este caso fue con 5 g/L de glucosa.

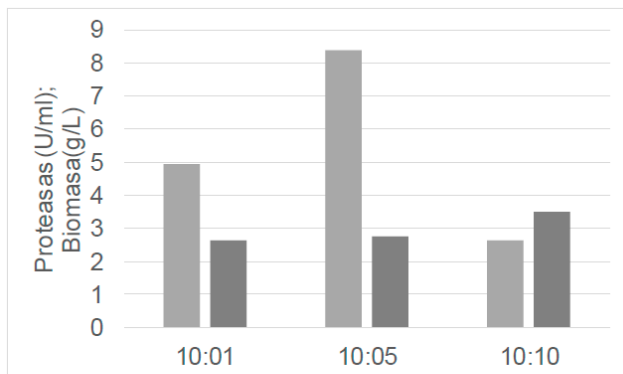


Figura 2 Producción de proteasa (■) y biomasa (■) de *B. coagulans* creciendo en un medio con 10 g/L de cáscara de camarón y 1, 5 o 10 g/L de glucosa.

Finalmente, se probaron otras cepas de bacterias lácticas en esta condición experimental, para identificar si alguna de ellas producía una mayor cantidad de proteasas respecto a la obtenida con *B. coagulans*, siguiendo la evolución de la producción de proteasas a lo largo del cultivo. La figura 3 muestra los resultados obtenidos, en donde se puede observar que *H. bifido* se obtuvo una producción de proteasas de 10.4 U/ml a las 24 horas. Esta producción fue superior a la obtenida con *B. coagulans*. La cuantificación de pérdida de proteína de la cáscara por acción de las proteasas producidas está en proceso. Sin embargo, la siguiente

fase experimental se centrará en caracterizar detalladamente la producción de proteasas por *H. bifido* en cáscara de camarón y analizar las características de las proteasas producidas luego de una purificación parcial de las mismas.

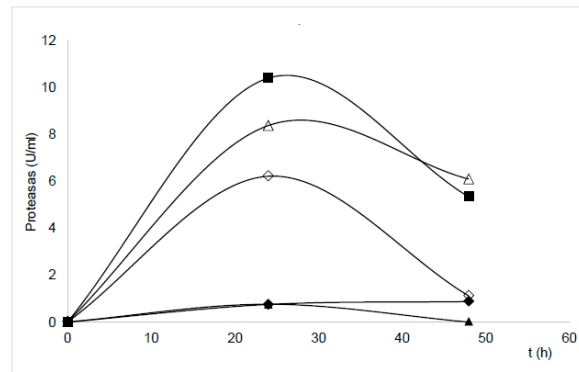


Figura 3. Producción de proteasas por *B. coagulans* (Δ), *H. Bifido* (■), *H. Rhamnosus* (▲), *L Rhamnosus* (◇), *L acidophilus* (◆), creciendo en 10 g/L de cáscara de camarón y 5 g/L de glucosa

## CONCLUSIONES

Es posible observar que la glucosa es una fuente de carbono adecuada para la producción de proteasas por *B. coagulans*. Diferentes concentraciones de glucosa provocaron un incremento en la producción de proteasas, aunque concentraciones por encima de 50 g/L mostraron una disminución considerable de dicha producción. La presencia de cáscara de camarón provocó un incremento en la producción de estas enzimas, y los experimentos mostraron que es posible tener una relación 10:5 g/l de cáscara de camarón:glucosa para lograrlo. Finalmente, se identificó una bacteria láctica que produce una mayor cantidad de proteasas que la cepa que se utilizó originalmente, por lo que será interesante analizar las características de las proteasas producidas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dra. Eva Rodríguez Huevo por la donación de las cepas de las bacterias lácticas.

## REFERENCIAS.

- [1] Arbia, W., Arbia, L., Adour L., Amrane. A. (2013). Chitin Extraction from Crustacean Shells Using Biological Methods – A Review. *Food Technology and Biotechnology* 51 (1) 12–25.
- [2] Marmol, Z., Paez, G., Arujo, K., Aiello, C., Chandler, C., Gutierrez, E. (2011). Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revision de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientifica URU* (1), 53 - 58
- [3] Cira, L. A., Huerta, S., Hall, G. M., Shirai, K. (2002). Pilot scale lactic acid fermentation of shrimp wastes for chitin recovery, *Process Biochemistry* 37 (12), 1359-1366.
- [4] Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, 31 (3), 426-428.
- [5] Castro, R.J. S, Nishide, T.G., Sato, H.H., (2014). Production and biochemical properties of proteases secreted by *Aspergillus niger* under solid state fermentation in response to different agroindustrial substrates. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3 (4), 236-245.



## GENERACIÓN DE CLORO ACTIVO PARA LA DEGRADACIÓN DEL ROJO REACTIVO 198 EN UN REACTOR ELECTROQUÍMICO.

Azucena López Fentanes, Miguel Ángel Cipress López Moreno, Francisca Alicia Rodríguez Pérez\*, Eligio Pastor Rivero Martínez

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería y Tecnología, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM, Av 1° de Mayo, Campo 1, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54740, MÉXICO.

ica1\_alicia@hotmail.com\*

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la degradación de soluciones de colorante Rojo Reactivo (R.R198) que simulan efluentes contaminantes de la industria textil, se realiza con "cloro activo" formado mediante la oxidación electroquímica en un reactor de flujo continuo, uno de los electrodos que se utilizan en la electrólisis tienen una base de óxido de titanio y rutenio dopado con óxido de antimonio el cual cumple la función de ánodo que se nombra dimensionalmente estable (DSA) para la generación in situ de cloro en la solución de colorante para su degradación [4]. El estudio se realizará por etapas, en las cuales se analizará la influencia del flujo volumétrico, concentración de cloruro de sodio, densidad de corriente.

**PALABRAS CLAVE:** Electro-oxidación avanzada, Rojo Reactivo 198, Cloro activo, DSA, Electrólisis.

### ANTECEDENTES

Las industrias de procesamiento de textiles en la actualidad están muy extendidos en los países en desarrollo. En los diversos procesos se utiliza un gran volumen de agua para el proceso de teñido, fijación y lavado [1]. Posteriormente se desechan estos efluentes a los cuerpos de agua sin algún tratamiento previo.

El efluente descargado de las fábricas de tintura de textiles consiste en aguas residuales de colorantes altamente concentradas con varios tipos de tintes. La mayoría de los colorantes son estructuras aromáticas complejas, que son difíciles de eliminar por atenuación natural. Los colorantes azoicos son resistentes a la biodegradación, que tienen en su estructura química uno o más enlaces azo (R-N=N-R').

La eliminación de colorantes reactivos de las

aguas residuales es difícil debido a su alta solubilidad. Estos tintes también causan serios problemas ecológicos; por ejemplo, afectan significativamente la actividad fotosintética de las plantas acuáticas al reducir la penetración de la luz, y pueden ser tóxicas para algunos organismos acuáticos [2].

El colorante en estudio es el R.R198 es del tipo aniónico, su fórmula química es  $C_{27}H_{18}ClN_7Na_4O_{15}S_5$ , su peso molecular es 968/21(g/mol), la longitud de onda de máxima absorción (nm) 518 [3].

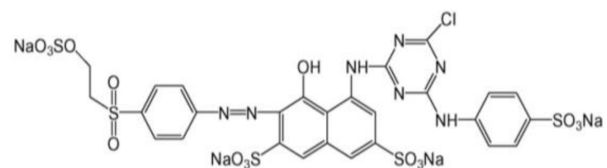


Figura 1. Estructura química del Rojo Reactivo 198 [3].

Los efluentes de la industria textil no solo contienen colorantes, sino también altas concentraciones de cloruros debido a que se utilizan mordientes como el cloruro de sodio para la fijación del color. El principio de la electro-oxidación avanzada oxidar los iones cloruros para dar a la formación de "cloro activo", que son las especies que degradan los contaminantes. El ácido hipocloroso (HClO), el ion hipoclorito (ClO<sup>-</sup>) y el cloro molecular (Cl<sub>2</sub>) son oxidantes fuertes.

### OBJETIVO

Degradar el colorante tipo "azo" rojo reactivo 198 mediante un proceso de electro-oxidación avanzada en un reactor de flujo continuo.

### PARTE EXPERIMENTAL

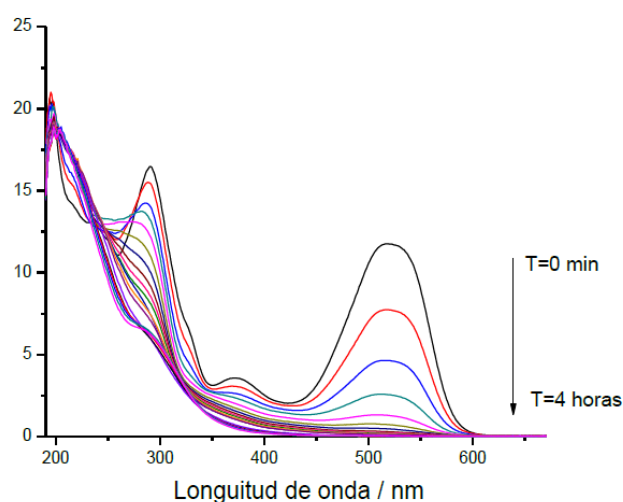
Se parte de soluciones (2L) de R.R198 y NaCl a diferentes concentraciones, donde se recirculan, donde la tubería utilizada fue de PVC y el recipiente fue de la marca Nalgene, la bomba fue una LITTLE GIANT PUMP CO, 2-MD. Se controló la temperatura con un serpentín de vidrio conectado a un baño de temperatura. Se utilizó un ánodo DSA Ti/RuO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> dopado con Sb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y un cátodo de acero inoxidable, con un área expuesta de 64 cm<sup>2</sup> cada uno. Se impuso la intensidad de corriente con una fuente de poder BK Precision 1672.

Las densidades de corriente (*j*) impuestas fueron: 15, 10, 5 y 2.5 mA cm<sup>-2</sup>. Se manejaron tres diferentes flujos volumétricos: 1, 2, y 3 L min<sup>-1</sup>. Durante los experimentos que duraron 4 horas se midieron diferentes parámetros: tiempo, pH, cloruros, Demanda Química de Oxígeno (DQO), potencial y espectros de absorción. Las muestras se tomaron cada 10 min (para obtener, pH, potencial, espectro de absorción) y 30 min (para medir, cloruros, DQO).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

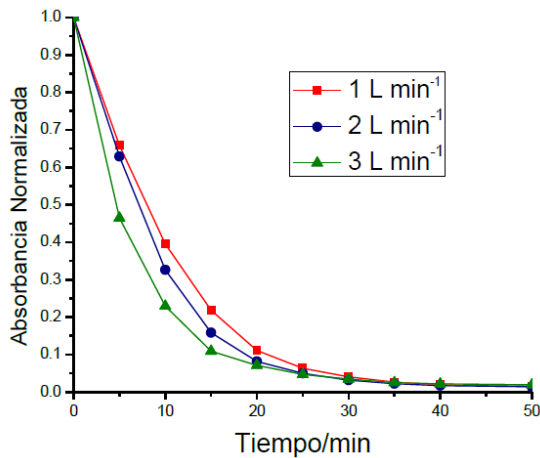
Durante la degradación del R.R198 en un reactor de flujo continuo, se obtuvieron espectros de absorción que se muestran en la Figura 2. Al inicio de la electrólisis se muestran tres bandas de absorción, una en la zona visible con un máximo en 517 nm, el cual es responsable del color rojo, generado por los anillos aromáticos

conectados a los grupos azo [4], dos bandas en la zona ultravioleta, 290 y 372 nm, las cuales son asociadas a los grupos aromáticos (naftaleno y bencenos). Durante la electrólisis las tres bandas de absorción disminuyen considerablemente. La banda en la zona visible (517 nm), disminuye más rápido que las bandas en la zona ultravioleta, debido a que es más difícil romper los compuestos aromáticos que los grupos azo contenidos en la molécula del R.R198 [3], Figura 1



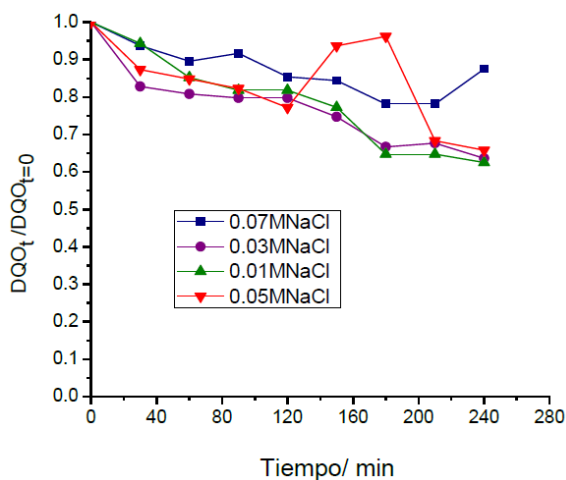
**Figura 2.** Espectros de absorción UV-Vis durante la degradación del RR198 en un reactor de flujo continuo a una  $j = 15 \text{ mA cm}^{-2}$  y 1 L min<sup>-1</sup>.

A diferentes flujos volumétricos, se obtuvo un efecto en la velocidad de decoloración, el cual se muestra en la Figura 4, donde al incrementar el flujo, es más rápida la decoloración del RR198, es decir trabajar el reactor a las condiciones descritas se tiene un control por transferencia de masa



**Figura 3.** Efecto del flujo volumétrico durante la decoloración del RR198 en un reactor de flujo continuo a una  $j = 15 \text{ mA cm}^{-2}$  ( $\lambda = 517 \text{ nm}$ ).

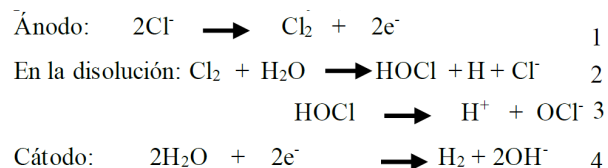
Cuando el color desaparece en la solución, no significa que la materia orgánica se haya degradado por completo, es por eso que se determinó la Demanda Química de Oxígeno (DQO) durante las degradaciones. En la Figura 4, se muestra el efecto de la concentración inicial de cloruros en la disminución de la DQO, a una concentración de cloruro de sodio mayor (0.07 M) se esperaría una mayor disminución de la DQO y se observa un incremento, por otro lado, a concentraciones menores de cloruros (0.05, 0.03, 0.01 M) no se aprecia un efecto en la disminución de DQO. La técnica de la DQO es muy susceptible a la presencia de cloruros, por lo que son considerados una interferencia para una buena estimación de DQO.

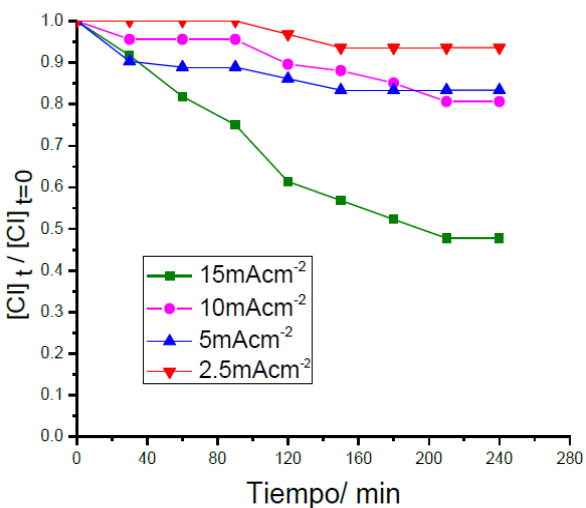


**Figura 4.** Efecto de la concentración de NaCl en la disminución de la DQO durante la degradación del R.R198 en un reactor de flujo continuo,  $j = 5 \text{ mA cm}^{-2}$ , RR198=40 ppm

El efecto de la densidad de corriente aplicada durante la degradación de las soluciones sintéticas de R.R198 en la disminución normalizada de NaCl, se muestra en la Figura 5. A la mayor densidad de corriente aplicada ( $15 \text{ mA cm}^{-2}$ ), mayor es la disminución de cloruros, se observa un 40 % de disminución de cloruros con respecto a la inicial. Mientras que a la menor densidad de corriente utilizada ( $2.5 \text{ mA cm}^{-2}$ ) la disminución de cloruros es menor, se tiene un 5 % de la disminución. El efecto de la densidad de corriente tuvo una tendencia más marcada en la disminución de color durante la degradación, ya que a mayor densidad de corriente, mayor fue la velocidad de disminución de color (resultados no mostrados).

La disminución de cloruros está relacionada a la formación de los agentes oxidantes que degradan la materia orgánica, en este caso al colorante RR198. Las reacciones que se llevan a cabo se presentan de la siguiente manera: la oxidación del ion cloruro para formar cloro ( $\text{Cl}_2$ ), el cual es estable únicamente en medio ácido (ecuación 1); el cloro en solución reacciona con el agua para formar ácido hipocloroso (ecuación 2), que predomina a pH mayor a 2.068, y debido a su poca estabilidad ( $\text{pK}_a = 7.53$ ) se disocia en el ion hipoclorito (ecuación 3), el cual predomina a un pH mayor de 7.49. En el cátodo se lleva a cabo la reducción del medio, en este caso la reducción del agua (ecuación 4). El proceso de reducción del agua (dos iones hidroxilo) se compensa con la reacción que se lleva a cabo en la disolución (los protones de las ecuaciones 2 y 3).





**Figura 5.** Efecto de la densidad de corriente utilizada en la disminución de NaCl, durante la degradación del RR198 en un reactor de flujo continuo, RR198=40 ppm y 0.05 M NaCl

## CONCLUSIONES

La degradación del colorante R.R198 mediante un proceso de oxidación avanzada se llevó a cabo generando in situ cloro activo en un ánodo DSA en un reactor de flujo continuo. El cloro activo logró romper los grupos azo, bencenos y naftalenos presentes en la molécula del colorante RR198. A una densidad de corriente de 15 mA cm<sup>-2</sup>, se observó un efecto de control por transferencia de masa. A mayor densidad de corriente mayor es la velocidad de degradación del R.R198.

## REFERENCIAS

- [1] Rajkumar, D., Kim, J. G. (2006). Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment, *Applied Catalysis B: Environmental* 62, 193-200.
- [2] Satapanajaru, T., Chompuchan, C., Suntornchot, P., Pengthamkeerati, P. (2011). Enhancing decolorization of Reactive Black 5 and Reactive Red 198 during nano zerovalent iron treatment. *Desalination* 266, 218-230.

## REMOCIÓN DE ETHINYL ESTRADIOL DE AGUA POTABLE MEDIANTE CARBON ACTIVADO

César González-Guerrero\*, Alejandra Guadalupe Villegas Pañeda, Leydi Rubi Pérez Vera

Facultad de Estudios Superiores Acatlán, Av. Alcanfores y San Juan Totoltepec s/n.  
Santa Cruz Acatlán, Naucalpan, Estado de México CP 53150. Tel. 56231750.

[cesargonzalezguerrero@hotmail.com](mailto:cesargonzalezguerrero@hotmail.com)

### RESUMEN

Hoy en día, existe una gran preocupación a nivel mundial por el desabasto del agua y la contaminación que se ha observado, así como el poco tratamiento que a esta se le da. Una de las inquietudes de la comunidad científica, preocupada por el monitoreo de contaminantes, así como la remoción de estos, ha propiciado un incremento en el desarrollo de técnicas que ayuden a dicha tarea, sin embargo, estas no están disponibles para toda la población que las requiera ni para todos los contaminantes que se requiera monitorear. Dicho esto, es labor de este grupo de trabajo el desarrollar metodologías de bajo costo, fáciles y rápidas en comparación con los métodos tradicionales. En el presente trabajo se desarrolló un método para la identificación de ethinyl estradiol como contaminante y disruptor endocrino en agua potable, así como la evaluación de su remoción mediante un tratamiento con carbón activado.

**PALABRAS CLAVE:** Agua potable, adsorción, remoción, contaminantes emergentes, ethinyl estradiol y carbón activado.

### ANTECEDENTES

Durante las últimas décadas se ha observado un incremento en la demanda de los recursos hídricos a nivel mundial, donde su mal uso y deficiente tratamiento han hecho que se observe un aumento en la contaminación, con potenciales consecuencias para la salud pública, la sustentabilidad ambiental, económica y a la seguridad alimentaria. En este sentido, cada día es más la preocupación que se tiene en el mundo debido a la presencia de contaminantes presentes en el agua [1], poniendo especial énfasis en los denominados contaminantes emergentes (CE). Dichos contaminantes se pueden encontrar en el agua en concentraciones muy bajas, no obstante, pueden ser perjudiciales para el ambiente y el ser humano. Dentro de este tipo de contaminantes podemos encontrar el caso de los medicamentos, que en su amplísimo espectro, contemplan a

los de remplazo hormonal, primordialmente sintéticos y utilizados como emergencia ante el embarazo. Estos contaminantes son también conocidos como disruptores endocrinos (DE) [2]. Los DE son compuestos químicos que pueden alterar el equilibrio del cuerpo al evitar que el sistema endocrino funcione adecuadamente. A este respecto, se han desarrollado varias metodologías de monitoreo y remediación para las aguas contaminadas, siendo la adsorción de contaminantes mediante carbón activado una de las más utilizadas. En el 2012, García desarrolló aplicaciones de la cromatografía líquida con detector de diodos y fluorescencia al análisis de contaminantes Medioambientales, entre ellos 17 $\alpha$ -etinilestradiol [3].

En gran canarias, Guedes y sus colaboradores en el 2015 se dieron a la tarea de identificar 15 hormonas en aguas tratadas como posibles disruptores endocrinos (Guedes 2015). [4] Porseryd y su equipo de trabajo encontraron que el pez cebra presentaba problemas de reproducción debido a la exposición de bajas concentraciones de este medicamento (Porseryd, 2017) [5], además de la falta de expresión de proteínas hepáticas estudiadas con anterioridad (Notch, 2007). [6]

Por tal motivo, surge la necesidad de desarrollar una metodología analítica de identificación por Cromatografía de Líquidos de alta resolución (CLAR UV-Vis), para Ethinyl Estradiol (EE2), el cual es un estradiol sintético alquilado con una sustitución 17- $\alpha$ -ethinyl que posee una gran potencia estrogénica cuando se administra de forma oral. Es utilizada normalmente en anticonceptivos orales y píldoras de emergencia.

## OBJETIVOS

Para este fin, se plantean los objetivos de Desarrollar un método analítico de identificación para EE2 mediante CLAR UV-Vis en agua y posteriormente, realizar pruebas de adsorción/remoción de ethinylestradiol mediante carbon activado de agua contaminada.

## PARTE EXPERIMENTAL

Los equipos, material y reactivos utilizados fueron un cromatografo de líquidos Perkin Elmer Series 200 con detector UV-Vis, columna C18 Sphersorb Perkin Elmer, metanol, acetona y acetonitrilo grado cromatográfico (Tegsiquim), agua Milli-Q tipo I y ácido fosfórico (GR). El estándar de referencia EE2 fue de la marca Sigma Aldrich. Para el ensayo de remoción se utilizó carbon activado Alfa Aesar malla 300.

Inicialmente, se prepararon soluciones de EE2 de un  $\mu\text{g}/\text{mL}$  y se inyectaron en el cromatografo con las condiciones de trabajo siguientes: fase móvil de 65:35 (ACN:H<sub>2</sub>O), ajustada a pH 3 con ácido fosfórico, 15  $\mu\text{L}$  de inyección, temperatura ambiente y un flujo de 0.8 mL/min. La detección se llevó a cabo a 230 nm.

Una vez identificada la respuesta de EE2 (Fig. 1), se trabajó con la linealidad y el intervalo de trabajo del método de 500 a 2500 ng/mL.

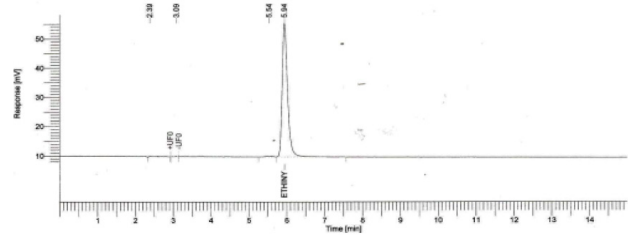


Figura 1. Pico característico de EE2 en un cromatograma.

Una vez que se establecieron las condiciones cromatograficas finales del método para la identificación de EE2, se procedió a hacer el ensayo de remoción mediante carbón activado.

En primer lugar, se colocó una muestra de agua y el estándar de EE2 (1  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) para utilizarlo como blanco positivo. Posteriormente se prepararon las muestras con el mismo tratamiento que el estándar, mas la adición de 0.5 g de carbón activado.

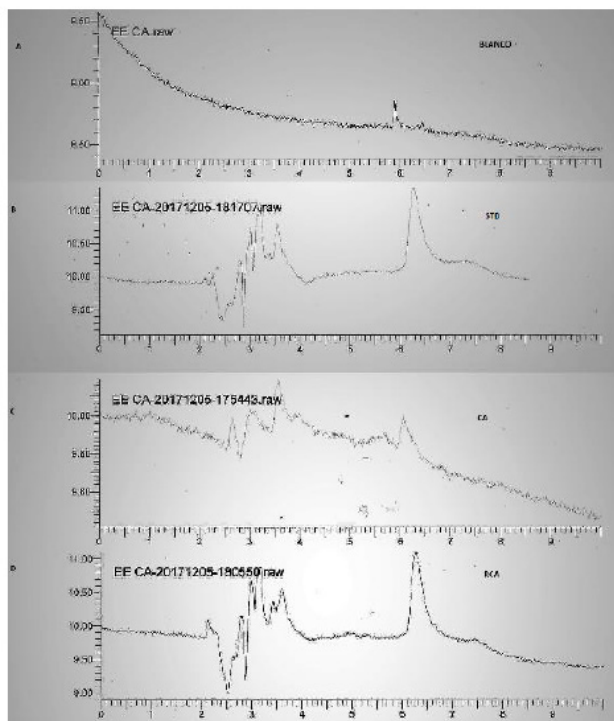
Ambos tubos se sometieron a agitación manual por 2 minutos y un minuto más de agitación en vortex.

Transcurrido el proceso, se procedió a centrifugar las muestras que contenían carbón para utilizar el sobrenadante. Se tomó aproximadamente 1.5 mL de sobrenadante y se colocaron en un vial de cromatografía. Se programó el equipo y se realizó la corrida.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de correr las muestras, se analizaron los cromatogramas resultantes.

En la figura 2 podemos observar en (A) un cromatograma correspondiente a un blanco de solvente. En (B) se presenta el pico característico del estándar de EE2. En (C) tenemos la respuesta de la muestra tratada con carbón activado, y como podemos ver, esta es considerablemente más pequeña que la del estándar. Finalmente, para corroborar el fenómeno de adsorción, se realizó una extracción al carbón activado con metanol para recuperar el EE2 que se encontraba secuestrado en el.



**Figura 2.** Resultados de adsorción de EE2. (A) Blanco de solvente, (B) Estándar de EE2, (C) Muestra tratada con CA y (D)

Como podemos observar, el carbón activado logra remover al EE2 del agua contaminada en más de un 80%. Convirtiéndolo en un interesante material para utilizar filtros específicos para la limpieza de este compuesto del agua contaminada.

Posteriormente se deberá trabajar en la validación del método y la posible inclusión de algunos otros disruptores endocrinos que puedan ser monitoreados y removidos en efluentes de agua.

## CONCLUSIONES

Finalmente, se logró establecer las condiciones idóneas para la identificación y cuantificación de EE2 por medio de HPLC.

El proceso de remoción de EE2 mediante carbón activado resulta ser efectivo en una proporción mayor al 80%.

El método es susceptible a mejoras y ampliación de sus alcances. Además, puede ser extrapolado a agua potable tratada.

## REFERENCIAS

- [1] Quesada-Peñate, I. (2009). Métodos no convencionales para el tratamiento de aguas contaminadas con productos farmacéuticos. Centro nacional de investigaciones científicas. Ciudad de La Habana, Cuba – Toulouse.
- [2] Hyun-Shik, Ch. (2009). The methods of Identification, Analysis and Removal of Endocrine Disrupting Compounds (EDCs) in Water. *Journal of hazardous materials*, 172(1), 1-12.
- [3] García, S. (2012). Aplicaciones de la Cromatografía Líquida con Detector de Diodos y Fluorescencia al Análisis de Contaminantes Medioambientales. *Informes Técnicos Ciemat*.
- [4] Guedes A. R. (2015). Determinación de hormonas esteroideas en aguas depuradas de la isla de gran canaria. II Workshop "Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas" Las Palmas de Gran Canaria, 401-408.
- [5] Porseryd, T. (2017). Persistent Effects of Developmental Exposure to 17-Ethinylestradiol on the Zebrafish (*Danio rerio*) Brain Transcriptome and Behavior. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 11, 1-19.
- [6] Notch, E. (2007). 17alpha-Ethinylestradiol decreases expression of multiple hepatic nucleotide excision repair genes in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 84, 301–309.

## ELIMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES EN AGUA MEDIANTE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA SOLAR

Betzaida Guadalupe Sánchez Soto<sup>1</sup>, Julio César Morales Mejía<sup>1</sup>, Ana Kendy Palacios Jimenez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Ingeniería y Tecnología

<sup>2</sup>Universidad Politécnica de Cuautitlán Izcalli

[bet.san.soto@gmail.com](mailto:bet.san.soto@gmail.com), [mmjc\\_80@yahoo.com.mx](mailto:mmjc_80@yahoo.com.mx), [kendypalacios27@mail.com](mailto:kendypalacios27@mail.com)

### RESUMEN

Las características físicas, químicas y biológicas del agua utilizada en distintas operaciones dentro de la industria representan un punto crítico dentro de la actividad industrial, por lo que es importante utilizar métodos de tratamiento previo ya que el agua municipal por sí sola no siempre cumple con los requerimientos necesarios para ser utilizada sin comprometer la integridad del equipo ante daños por corrosión, incrustaciones y/o bio-ensuciamiento. Para el último caso, la fotocatalisis heterogénea solar representa una alternativa ante el uso de cloro u otros desinfectantes. En el presente trabajo se estudia el efecto que tiene la presencia de un oxidante en la inactivación de Coliformes Totales mediante fotocatalisis heterogénea solar. Se preparó dióxido de titanio dopado con nitrógeno (N-TiO<sub>2</sub>) inmovilizado en diatomita y se usó como fotocatalizador; se tomaron microorganismos provenientes del suelo como fuente de coliformes totales. La inactivación se realizó en un fotorreactor tipo CPC, utilizando irradiancia solar para la activación del fotocatalizador. Se encontró la importante influencia que ejerce la presencia o ausencia de persulfato de sodio.

**PALABRAS CLAVE:** Biofouling, Coliformes Totales, Fotocatalisis, Oxidante, Inactivación, N-TiO<sub>2</sub>

### ANTECEDENTES

Se entiende como bio-ensuciamiento o biofouling la deposición no deseada de microorganismos sobre una superficie. Estas acumulaciones de microorganismos se denominan biopelículas o biofilms [1]. El bio-ensuciamiento es una de las mayores causas de pérdida de energía en tuberías de suministro de agua, su desarrollo en las paredes de las tuberías genera un aumento en la fricción, disminuyendo la eficiencia. Generalmente, se considera que el origen del problema del biofouling está basado en la formación de biopelículas [2, 3]. No existe un organismo en particular que sea el responsable del biofouling sino que, en general, se trata de un problema complejo en el que participan comunidades de microorganismos muy diversas.

Los microorganismos involucrados en el bio-ensuciamiento pueden ser hongos, algas y/o bacterias.

Las bacterias son la causa de la mayoría de los problemas en equipos de operaciones industriales, desde que éstas se adaptan más fácilmente a diversas condiciones [4].

Algunos de los problemas en las operaciones industriales asociados con distintos microorganismos: Formación de limo, Formación de esporas, Deposición de hierro, Nitrificación, Reducción de sulfato y Corrosión anaeróbica. Así, en Estados Unidos la reducción en eficiencia causada por bio-ensuciamiento genera un costo aproximado de 400 millones de dólares por año, por lo que es un factor importante a resolver.

El método más común para remoción de microorganismos en agua es el uso de cloro y aldehídos, siendo empleados durante décadas; sin embargo, es bien conocido que los microorganismos capaces de formar biopelículas presentan una mayor resistencia a la eliminación por estos métodos, resultando en la necesidad de aumentar la dosis de biocidas [2].



La inactivación fotocatalítica solar de microorganismos se logra mediante el uso de un fotocatalizador que, en presencia de una fuente de luz, genera especies oxidantes ( $\text{OH}\cdot$ ), capaces de reaccionar con la membrana celular, ocasionar lisis bacteriana y llevar posteriormente a la muerte del microorganismo [5]. Donde los valores de los parámetros cinéticos están influenciados por la concentración inicial del sustrato y del catalizador, así como por la energía irradiada, la temperatura y el pH [8].

La ecuación de la velocidad de reacción puede ser establecida como:

$$r = -\frac{dC_A}{dt} = k \cdot \theta \quad (1)$$

Donde  $r$  esta tasa de reacción, expresada en masa/(volumen\*tiempo),  $k$  es la constante cinética de reacción,  $C_A$  es la concentración del reactivo A (masa/volumen) y  $\theta$  es la fracción de cobertura del catalizador por el contaminante por adsorción. Considerando que la adsorción sobre el  $\text{TiO}_2$  se describe satisfactoriamente por el isoterma de Langmuir se puede expresar  $\theta$  como:

$$\theta = \frac{K \cdot C_A}{1 + K \cdot C_A} \quad (2)$$

Donde  $K$  es la constante de adsorción y representa el cociente de las constantes de adsorción y de desorción de A sobre el adsorbente. Así:

$$r = -\frac{dC_A}{dt} = k \cdot \frac{K \cdot C_A}{1 + K \cdot C_A} \quad (3)$$

Para el caso en que  $K \cdot C_A \ll 1$ , con  $C_A \ll 1 \times 10^{-3} \text{ M}$  se tiene que:

$$r = -\frac{dC_A}{dt} \approx k \cdot K \cdot C_A = k_{app} \cdot C_A \quad (4)$$

Donde  $k_{app}$  es la constante cinética de pseudo orden 1. Esta expresión diferencial puede resolverse fácilmente para obtener el comportamiento de  $C_A$  con respecto al tiempo  $t$ , donde la irradiancia,  $UV$ , es constante y la concentración del contaminante baja, obteniendo:

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = k_{app} \cdot t \quad (5)$$

Sin embargo, la destrucción de los contaminantes por fotocátalisis heterogénea no depende necesariamente del tiempo de reacción, sino de la energía radiante (de longitud de onda adecuada) recibida sobre el reactor. Considerando esto, es común sustituir el tiempo por la energía ( $E$ ) en la expresión cinética (ecuación 3) y llegar a expresiones idénticas que las ecuaciones 4 y 5 en las que la variable  $t$  es sustituida por  $E$ .

Dentro de las posibles opciones de reactores para efectuar la desinfección por fotocátalisis heterogénea solar, se cuenta a los Sequencing Batch Reactors (SBR), los cuales operan por lotes o en discontinuo. Estos reactores permiten gran flexibilidad en las estrategias de operación, posibilitando modificar los tiempos de reacción, llenado, decantado, vaciado y/o de inactividad, para lograr un efluente con la calidad deseada. Aún más, los reactores SBR permiten combinar algunas de sus fases de operación, como el caso del llenado y la reacción.

Los métodos rápidos para determinar microorganismos, como coliformes totales, ofrecen la posibilidad de eliminar algunos de los pasos de un análisis convencional, otorgando facilidad, uniformidad en los procesos y resultados rápidos confiables y seguros. Las Placas Petrifilm (de 3M) proporcionan resultados de manera rápida, son adecuados para el análisis de rutina, son precisos y exactos, son técnicamente viables e internacionalmente aceptados [6]. Los coliformes se definen como colonias de bastoncillos gram-negativos que producen ácido y gas durante la fermentación metabólica de la lactosa. Las colonias de coliformes crecen en la Placa Petrifilm CC y producen un ácido que causa el oscurecimiento de un gel por el indicador de pH. El gas atrapado alrededor de las colonias rojas de coliformes confirma su presencia.

La ISO define los coliformes por su capacidad de crecer en medios específicos y selectivos. El método ISO 4832, que enumera los coliformes por la técnica del recuento de colonias, define los coliformes por el tamaño de las colonias y la producción de ácido en el Agar VRB con lactosa (VRBL). En las placas Petrifilm CC, estos coliformes productores de ácido se muestran como colonias rojas con o sin gas. El método ISO 4831, que enumera los coliformes por el método del Número Más Probable

(NMP), define los coliformes por su capacidad de crecer y producir gas a partir de la lactosa en un caldo selectivo. En las placas Petrifilm CC, estos coliformes se muestran como colonias rojas asociadas a gas [11].

### OBJETIVO GENERAL

Realizar una eliminación de Coliformes totales en agua mediante fotocátalisis heterogénea solar.

### OBJETIVO ESPECIFICO

Determinar el efecto que tiene la concentración inicial del oxidante en la inactivación fotocatalítica de Coliformes totales.

Materiales y método

A. Agua potable municipal. El agua potable se inocula con una muestra de suelo húmedo. Por cada litro de agua se adiciona 1g de suelo. El suelo pesado fue disuelto en el agua para posteriormente ser filtrado y ajustado al volumen de agua necesario.

B. Muestras de suelo húmedo

C. Persulfato de sodio,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$

D. Fotocatalizador sinterizado y dopado con N.

Se realizó una limpieza de la tierra diatomacea con ácido nítrico  $\text{HNO}_3$  diluido, para una posterior inmersión en la solución precursora, preparada con una relación molar de TEOS,  $\text{HNO}_3$  y Etanol (1:0.5:50), agitando por una hora y posterior secado durante 24 horas a temperatura ambiente; la película se sinterizó a  $400^\circ\text{C}$  durante una hora. Se preparó una solución precursora de  $\text{N-TiO}_2$ , con isopropóxido de titanio, isopropanol, urea, ácido nítrico en relaciones molares (1:26.5:4:0.5), posterior agitación de una hora, filtrado y se finalizó con el sinterizado a una temperatura de  $575^\circ\text{C}$  durante 1 hora en mufla, el proceso de sinterizado de  $\text{N-TiO}_2$  se realizó a fin de obtener dos capas [9, 10].

Para síntesis de catalizador  $\text{N-TiO}_2$  inmovilizado en diatomita, por el método de Sol-Gel, se usó:

- \* Tetraetil ortosilicato (TEOS  $\geq 99\%$ , Aldrich),
- \* Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ , ensayo 64-66%, Reptoquifin),
- \* Etanol ( $\geq 99\%$ , Reptoquifin),
- \* Isopropóxido de titanio (97%, Aldrich),
- \* Isopropanol y
- \* Urea (Baker).

E. Radiómetro YK-35UV, Lutron

F. Reactor fotocatalítico. Tipo CPC, fabricado con tubos de vidrio Pyrex, mangueras flexibles y láminas de aluminio reflejante Reflectek. La capacidad del reactor es de 0.9 a 2L. La base del reactor está fabricada de ácido poli-láctico mediante impresión 3D



Figura 1. Reactor solar tipo CPC

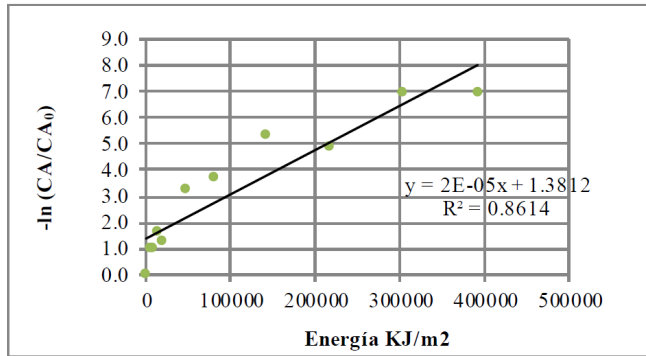
G. Método de conteo de Coliformes Totales Petrifilm. Estas placas Petrifilm contienen nutrientes de Bilis RojoVioleta, (VRB), un agente gelificante soluble en agua fría y tetrazolium (indicador), que facilita el recuento de las colonias.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

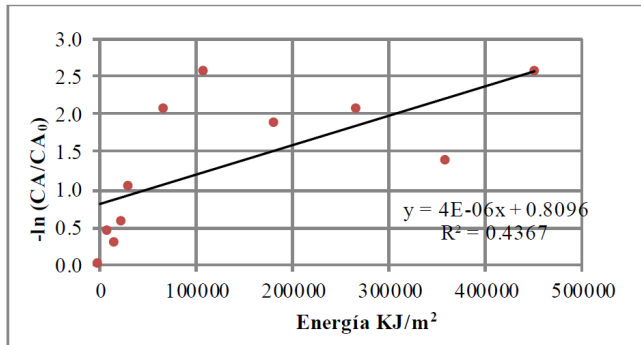
Se determinaron los parámetros cinéticos: orden de reacción de inactivación ( $n$ ) y la constante de velocidad de la reacción ( $k_{app}$ ) en la inactivación de Coliformes totales mediante fotocátalisis heterogénea solar con  $\text{N-TiO}_2$  como catalizador. La concentración del catalizador se mantuvo constante en cada uno de los ensayos donde se observaron los cambios en el conteo de microorganismos, UFC/100mL, en el agua empleando Petrifilms, donde el tiempo de reacción fue de tres horas.

Al realizar la comprobación del orden de reacción mediante el método gráfico lineal, el coeficiente de correlación ( $r^2$ ), para cada ajuste presenta un valor más cercano a la unidad para una cinética de pseudo primer orden ( $-\ln(CA/CA_0)$  vs  $E_{acc}$ ), en las figuras 2, 3 y 4 el valor de la pendiente corresponde a la magnitud de la  $k_{app}$ . Al corresponder a una reacción de pseudo primer orden, la velocidad de

reacción es indirectamente proporcional al valor de la concentración inicial del contaminante.

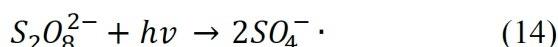
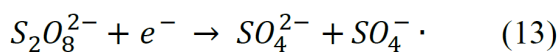


**Figura 2.** Cinética de reacción, condiciones: N-TiO2 0.1g/L, Na2S2O8 10-3 M



**Figura 3.** Cinética de reacción, condiciones: N-TiO2 0.1g/L, Na2S2O8 5x10-4 M.

Las figuras 2 y 3 muestran los resultados de la inactivación de Coliformes con N-TiO2 en una concentración de 0.1g/L, y dos concentraciones de persulfato (0.001 y 0.0005 M). El persulfato de sodio posee un potencial redox, relativamente alto ( $E^\circ=2.01$  V) y presenta mayor constancia en comparación con los oxidantes convencionales tales como ozono, O3 y peróxido de hidrogeno, H2O2 [7]. Al ser un aceptor de electrones disminuye la recombinación de foto-huecos con los foto electrones generados en la superficie del TiO2 (ecuación 13) y a su vez genera radicales adicionales (ecuación 14); dichos radicales, en conjunto con los radicales hidroxilo, OH•, son capaces de reaccionar con la membrana del microorganismo ocasionando



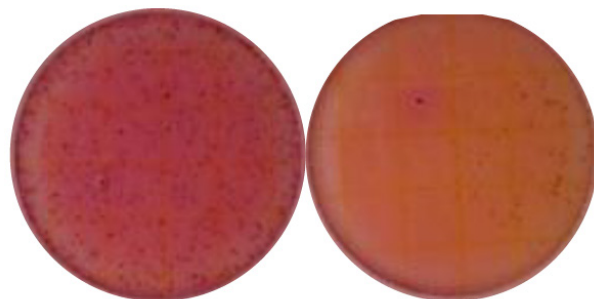
Esto explica lo observado experimentalmente, es decir, que el rendimiento de la reacción se vea favorecido y aumente en presencia del oxidante como nos indica la Tabla 2. En ella se observa que, si bien el rendimiento de la reacción es bueno cuando se adiciona persulfato, la diferencia entre ambos es mínima a pesar de que en uno el oxidante se encuentre a la mitad de concentración que en el otro caso. Sin embargo acorde a los resultados mostrados en la tabla 1, para el caso de persulfato de sodio 5x10-4M, la concentración inicial de microorganismos es notablemente menor. Los ensayos correspondientes a la columna b\*, indican el número de UFC/ 100mL al inicio y fin de las reacciones donde se realizó el seguimiento cinético

**Tabla 1. UFC/ 100mL al inicio y final de la reacción para cada variación de concentración en persulfato de sodio.**

Persulfato de sodio (mol/L)	UFC/100 mL					
	a		b*		c	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
0	58500	24300	11700	4200	48000	11900
10 <sup>-3</sup>	10200	200	104200	100	19400	100
5·10 <sup>-4</sup>	5400	500	3900	300	3500	100

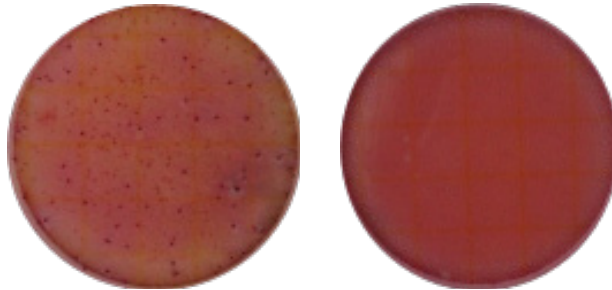
**Tabla 2. Contantes cinéticas y porcentaje de rendimientos de la reacción.**

Na2S2O8 (mol/L)	% Rendimiento	k <sub>app</sub>	Orden (n)
0	65.92	3.221 x10 <sup>-6</sup>	1
10 <sup>-3</sup>	99.14	1.692 x10 <sup>-5</sup>	1
5x10 <sup>-4</sup>	94.26	3.914 x10 <sup>-6</sup>	1

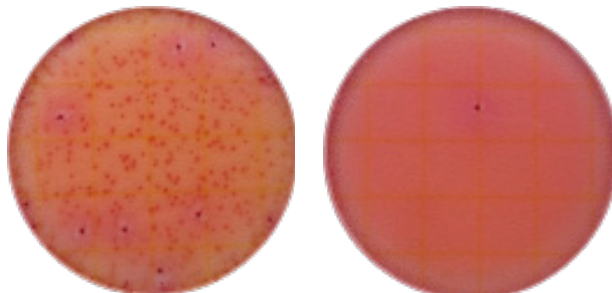


**Figura 4.** Comparación de Petrifilm al inicio (izquierda) y final (derecha) de la reacción, en ausencia de Na2S2O8.

Las Figuras 4 a 6 corresponden a los cambios más notables en cuanto a UFC, morfología de las colonias y apariencia del cultivo correspondientes al inicio y final de cada ensayo.

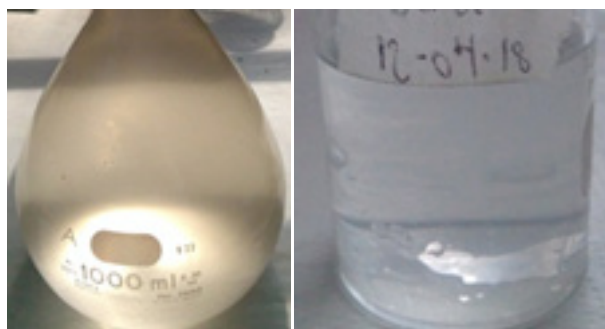


**Figura 5.** Petrifilm al inicio (izquierda) y al final (derecha) de la reacción, con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 = 10^{-3}\text{M}$ .



**Figura 6.** Petrifilm al inicio (izquierda) y al final (derecha) de la reacción, con  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8 = 10^{-3}\text{M}$ .

En todas las reacciones efectuadas podemos apreciar la destacada disminución de microorganismos al término de la fotocatalisis y al mismo tiempo, el cambio en la morfología de las colonias, principalmente el tamaño de las colonias fue significativamente menor. El cambio de coloración en las Petrifilms se debe a la alta presencia de organismos no-coliformes al inicio de la reacción, los cuales fueron también eliminados.



**Figura 11-12.** Comparación de agua antes (izquierda) y después (derecha) de inactivación fotocatalítica.

Debido a la forma de inoculación del agua potable, que consistía en tomar el microorganismo del suelo húmedo, la apariencia inicial del agua era color marrón y con materia orgánica en suspensión. Al término de cada reacción el agua recuperada exhibía una apariencia menos turbia y más cristalina.

## CONCLUSIONES

Se encontró que la presencia de persulfato durante la inactivación de Coliformes totales se tradujo en una notable mejora en el rendimiento de la reacción, mientras que la diferencia entre utilizar una concentración de  $10^{-3}\text{M}$  y la mitad de esta ( $5 \times 10^{-4}\text{M}$ ) es poco significativa en cuanto al rendimiento pero claramente notoria respecto a la velocidad de reacción.

## AGRADECIMIENTOS

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM, RA106318, Depositado de  $\text{TiO}_2$  sobre soportes densos para la oxidación fotocatalítica solar de contaminantes de preocupación emergente en agua. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida.

Sea agradece también a María Andrea Trejo Márquez por el apoyo brindado en el desarrollo de este proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] Characklis, W. G. (1990). Microbial biofouling control. In: Biofilms. New York: Wiley.
- [2] Griebe, T., Flemming, H. (1998). Biocide-free antifouling strategy to protect RO membranes from biofouling. *Desalination*, 118(1-3), 153-156.
- [3] Kirkpatrick, J. P., McIntire, L. V., Characklis, W. G. (1980). Mass and heat transfer in a circular tube with biofouling. *Water Research*, 14, 117-127.
- [4] Bott, T. R. (2011). Industrial biofouling. Amsterdam, Great Britain: Elsevier.
- [5] Yang, X., Wang, Y. (2008). Photocatalytic effect on plasmid DNA damage under different UV irradiation time. *Building And Environment*, 43, 253-257.
- [6] Olvera, M. G. (2016). Evaluación del efecto de diferentes diluyentes para la recuperación de microorganismos indicadores en alimentos (mesófilos aerobios y coliformes totales) empleando placas petrifilm 3M. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad Autónoma de México, México.

## OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA DE ACESULFAME-K CON FOTOCATALIZADORES DE $TiO_2$

Leonarda Ivette Martínez García<sup>1</sup>, Julio César Morales Mejía<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana,

<sup>2</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Departamento de Ingeniería y Tecnología.

leonarda.fibonacci2401@gmail.com, mmjc\_80@yahoo.com.mx

### RESUMEN

Aquí se presenta la síntesis de fotocatalizadores de  $TiO_2$  elaborados con el método de sol-gel y utilizando dos diferentes precursores, modificando en cada una el número de capas soportadas (2, 4, 5, 6). Se buscó obtener un fotocatalizador efectivo, de preparación simple, ecoamigable y con buena sedimentación. Estas películas se caracterizaron mediante Difracción de rayos X, Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo y Área superficial, así como mediante pruebas de oxidación fotocatalítica de Acesulfame-K. Se obtuvieron fotocatalizadores de nanopartículas de  $TiO_2$  en fase anatasa, forma esférica y superficie macroporosa. Tras todas estas pruebas y con un análisis estadístico, se concluyó que no existe una diferencia significativa en las propiedades de los fotocatalizadores sintetizados con los dos diferentes precursores, pero sí existe una diferencia debido al número de capas de  $TiO_2$  depositadas.

**PALABRAS CLAVE:** fotocatalisis, sol-gel, películas, ECP, fotocatalizadores, síntesis, Acesulfame K.

### ANTECEDENTES

Actualmente, una de las grandes problemáticas ambientales es la contaminación del agua y la presencia de contaminantes variados y persistentes en aguas residuales. En muchos efluentes líquidos industriales, como en los provenientes de industrias farmacéuticas, de elaboración de pesticidas y de producción de alimentos, así como en aguas residuales domésticas, se pueden encontrar contaminantes de preocupación emergente (ECPs), los cuales acumularse y transportarse, tienen efectos (probados o potenciales) en el ser humano y en su mayoría generan problemas en otros seres vivos. Si bien algunos procesos de tratamiento terciario o avanzado de aguas pueden eliminarlos, el costo implicado es alto. Por lo tanto, es importante encontrar métodos alternativos, eficientes, económicos y más eco-amigables, para la mineralización de dichos

contaminantes [1].

La oxidación fotocatalítica de contaminantes presenta una ventaja sobre las técnicas comúnmente utilizadas, el tratamiento primario (Físico) y secundario (Químico/Biológico) [2], y va volviéndose competitiva con otros sistemas de tratamiento terciario. Los tratamientos primario y secundario permiten disminuir la alta carga orgánica, disminuyendo la DQO y la DBO de los efluentes, pero son ineficaces en la eliminación eficiente del color y de la toxicidad. Por su parte, la oxidación fotocatalítica consiste en la destrucción de los contaminantes mediante el empleo de radiación solar UV y fotocatalizadores, que son capaces de formar radicales hidroxilo, los cuales posteriormente tendrán un efecto oxidante sobre los contaminantes químicos. En este proceso la oxidación tiene lugar directamente en la

superficie de la partícula que se utiliza como fotocatalizador (como el  $\text{TiO}_2$ , entre otros), siendo la radiación solar una fuente de energía importante para activar los fotocatalizadores. La fotocatálisis heterogénea mediada por  $\text{TiO}_2$  y la fotooxidación mediada por compuestos férricos (procesos Fenton y Foto Fenton) son dos alternativas atractivas para eliminar ECPs.

El dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) se utiliza en reacciones fotocatalíticas y fotoelectroquímicas, como en la purificación del aire en interiores, en exteriores, y del agua, principalmente por poseer características de interés para fungir como fotocatalizador [3]. Particularmente, el  $\text{TiO}_2$  presenta tres fases cristalinas: Anatasa (estructura octaédrica), rutilo (estructura tetragonal) y brookita (estructura ortorrómbica) siendo en su fase anatasa y rutilo, un semiconductor sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética cerca de la región UV, es anfótero, muy estable químicamente y de baja toxicidad [4].

El  $\text{TiO}_2$  puede estar suspendido libremente o soportado (depositado) en algún material que le otorgue resistencia, facilite la sedimentación y que le permita ser manejado con facilidad [5]. La diatomita es una roca silícica sedimentaria originaria de esqueletos fosilizados de diatomeas (algas marinas) cuyas propiedades son ideales para actuar como soporte. Dichas características incluyen que es químicamente inerte, tiene un elevado grado de porosidad, área superficial alta, es de bajo costo y de gran poder absorbente así como de su gran resistencia térmica [6].

El proceso sol-gel es un proceso simple para obtener fotocatalizadores, tanto libres como depositados. Consiste básicamente en la disolución de un alcóxido metálico en un disolvente orgánico, el cual luego es hidrolizado total o parcialmente. Posteriormente, se lleva a cabo la etapa de polimerización, en la que se forman las uniones O-Ti-O y la subsecuente pérdida de agua, luego se forma un gel con estructuras tridimensionales a través del líquido. Se continúa con una etapa de secado ( $T < 100^\circ\text{C}$ ), removiendo así el alcohol y el agua del sistema, y finalmente se hace una deshidratación (entre  $300\text{-}800^\circ\text{C}$ ) para eliminar los compuestos orgánicos residuales. El tamaño de la partícula y sus características dependen mucho de las condiciones de síntesis del gel [7].

Los nuevos disolventes (limpios o verdes) pretenden solucionar problemas de contaminación por dispersión al medioambiente que suelen ocasionar los disolventes orgánicos convencionales. Por ello una de las dos rutas utilizadas en la elaboración de los fotocatalizadores consiste en sustituir disolventes como acetyl acetona por el Extracto etílico de *Cymbopogon*.

## OBJETIVOS

- Preparar fotocatalizadores eficientes, depositados sobre tierras diatomáceas mediante el Proceso Sol-Gel
- Determinar si existe una diferencia en el comportamiento y en las propiedades de los fotocatalizadores de  $\text{TiO}_2$  preparados con dos precursores diferentes.
- Eliminar eficientemente el contaminante de preocupación emergente en un reactor fotocatalítico solar, mediante los fotocatalizadores sinterizados.
- Determinar la cantidad adecuada de capas en la película del fotocatalizador depositado.

## PARTE EXPERIMENTAL

Para obtener un fotocatalizador de buenas características se optó por el método sol-gel debido a que presenta ciertas ventajas sobre otros métodos, como la alta pureza química, menor tiempo de reacción, un área específica alta, un mayor control micro-estructural de las partículas metálicas y una mayor estabilidad térmica de los metales soportados.

### Síntesis de fotocatalizadores

Primero, se limpiaron los soportes (tierras diatomáceas) haciendo pasar una solución de  $\text{HNO}_3$  (1:10) a través de ellas y luego con un filtrado por gravedad y un posterior secado en estufa ( $100^\circ\text{C}$ , 1h).

Posteriormente, fueron preparados los precursores:

- Precursor de  $\text{SiO}_2$ . Se mezclaron tetra etil orto silicato (TEOS, de Sigma Aldrich),  $\text{HNO}_3$  y etanol en relación molar (1:0.5:50), en agitación constante por 1h, a temperatura ambiente, en vaso de precipitados sellado con parafilm para evitar evaporación de los disolventes.
- Precursor  $\text{TiO}_2$ . Se mezclaron isopropóxido de titanio (de Sigma Aldrich) e isopropanol en una relación molar (1:26.5), 1h en agitación constante, temperatura ambiente en recipiente sellado para evitar la precipitación de  $\text{TiO}_2$  por reacción del precursor con el agua

atmosférica. Para uno de los precursores se agregó etanol y para el segundo, se sustituyó el etanol por extracto etílico de *Cymbopogon* (5g previamente lavada, secada, triturada y en reposo en 50 mL de etanol durante 48h).

Se realizó el recubrimiento de las diatomeas con una película de  $\text{SiO}_2$  mediante su inmersión en la solución precursora (i) en un vaso de precipitados sellado con parafilm en agitación constante por 1h a temperatura ambiente; filtración por gravedad y posterior secado en desecador (3h). Finalmente se sinterizó en mufla ( $400^\circ\text{C}$ , 1h), la mufla se enfrió ( $T < 250^\circ\text{C}$ ) se retiró y se colocó en desecador hasta alcanzar temperatura ambiente.

A continuación se realizó el recubrimiento de las diatomeas con 2, 4, 5 y 6 capas de  $\text{TiO}_2$ , para cada ruta, a través de la inmersión del soporte en su precursor, de la misma forma que se realizó para el  $\text{SiO}_2$ . La temperatura de sinterizado fue  $575^\circ\text{C}$ . Los fotocatalizadores se guardaron en frascos de vidrio debidamente etiquetados. (Figura 1).



**Figura 1.** Fotocatalizadores de 2, 4, 5 y 6 capas de  $\text{TiO}_2$  de cada ruta.

#### Caracterización de fotocatalizadores

Para determinar las fases cristalinas de los fotocatalizadores éstos fueron llevados al Laboratorio de Difracción de Rayos X de la FESC. Se colocó una pequeña porción de catalizador a manera de que llenara el cilindro de medida en la placa portamuestras. Ahí se ingresó al Difractómetro y se analizó. Para su análisis estructural se utilizó el software Match!

- Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo.

Para conocer la morfología de los fotocatalizadores, éstos fueron llevados al Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM para su correspondiente análisis en el Microscopio de Barrido Electrónico

(FESEM). Una vez obtenidas las micrográficas se pudo estudiar la superficie del catalizador para determinar si existe una diferencia significativa en el efecto tensoactivo y diámetro de partículas de  $\text{TiO}_2$  adheridas al soporte. Para determinar el diámetro promedio de partícula de los 8 diferentes fotocatalizadores se eligió, de cada uno, la micrografía a 200,000 aumentos; con un escalímetro profesional se midió el diámetro de 10 diferentes partículas distribuidas de cada micrografía y se calculó el diámetro promedio de partícula para cada fotocatalizador.

#### •Área superficial

Para conocer el área superficial de los fotocatalizadores de  $\text{TiO}_2$  se tomó una pequeña muestra de cada uno de los fotocatalizadores en frascos de vidrio de 5 mL. Éstos fueron analizados en la Facultad de Química de la UNAM.

#### Pruebas en reactor fotocatalítico solar

En cada experimento se hicieron dos pruebas simultáneas, una de Ruta 1 y una de Ruta 2 comenzando por las de 2 capas. Se usaron 2 reactores fotocatalíticos tipo CPC (concentración geométrica unitaria) simultáneamente en este proceso (Figura 2). El tiempo total de reacción fue de 1.5 horas. Se realizó por duplicado cada experimentación. Éste proceso (Paso 1-6) se repitió para cada fotocatalizador.

#### Procedimiento:

1. Se colocaron y armaron los dos fotorreactores en una superficie plana y soleada en orientación este-oeste.
2. Para cada reactor se utilizaron 700 mL de solución contaminada contenidos inicialmente en su respectivo tanque. Al encender las bombas se extrajo muestra de 4 mL con dos diferentes jeringas de 10 mL (una para cada reactor).
3. Inmediatamente se midió la irradiancia solar con el radiómetro y se tomó una muestra de cada reactor. Se agregó, simultáneamente, el fotocatalizador/oxidante en cada tanque e inmediatamente se tomó una muestra.
4. Se midió la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro.
5. Por periodos de 10 minutos se tomaron muestras, se midió la irradiancia y se leyeron las absorbancias de las muestras de agua del reactor.

6. Los resultados de absorbancia fueron extraídos en formato ASCII, los cuales fueron procesados con el software 'Origin Pro v8' para poder determinar órdenes de reacción, constantes de velocidad y eficiencias.



Figura 2. Reactor fotocatalítico solar tipo CPC.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los difractogramas se puede comparar los porcentajes de  $\text{TiO}_2$  en fase anatasa presentes en cada fotocatalizador, teniendo como variables sus diferentes números de capas y las dos rutas de síntesis (Figura 3).

Se aprecia que a mayor número de capas aumenta el porcentaje de fase anatasa en todos los fotocatalizadores.

-Haciendo la comparativa entre la variable del precursor utilizado, los fotocatalizadores con mayor fase anatasa son los sintetizados mediante la ruta Precursor/Extracto.

Para conocer el tamaño de las partículas y determinar si existió un efecto tenso-activo del Extracto probado, se compararon los diámetros promedio de las partículas depositadas, de acuerdo con las imágenes obtenidas de microscopía FESEM, de los fotocatalizadores de la Ruta 1 (Figura 4) con las de la Ruta 2 (Figura 5).

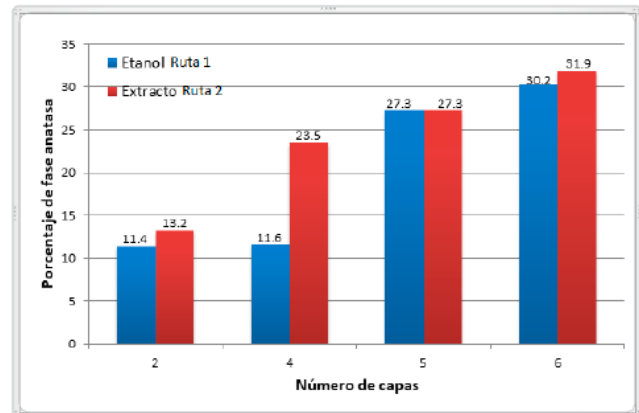


Figura 3. Comparativa de fase anatasa de fotocatalizadores obtenidos.

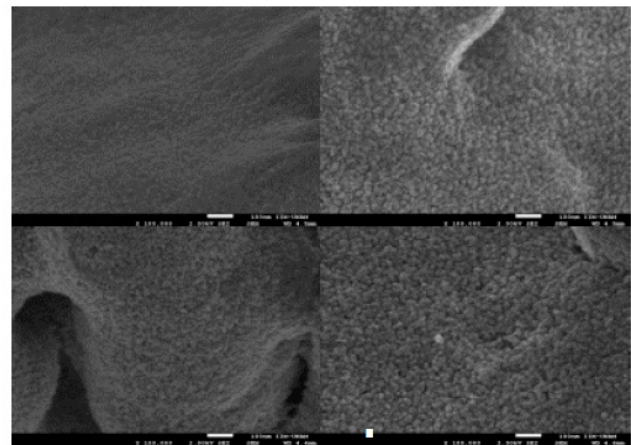


Figura 4. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de 100,000 aumentos. Ruta 1.

Para conocer la relación entre el diámetro promedio de partículas y su relación con el tipo de precursor y el número de capas aplicadas, se hizo la comparación de la Figura 6. Con base en ella, se pudo determinar que el diámetro promedio no presenta diferencia en cuanto al precursor utilizado pero, a mayor número de capas, existió un aumento gradual del diámetro de las partículas en ambas rutas.



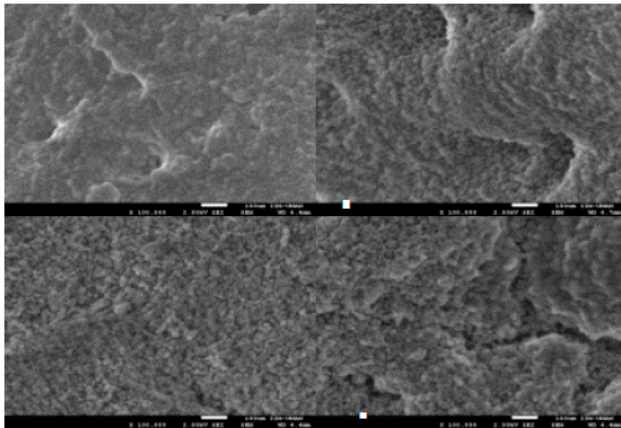


Figura 5. Imágenes de microscopía electrónica de barrido de 100,000 aumentos. Ruta 2.

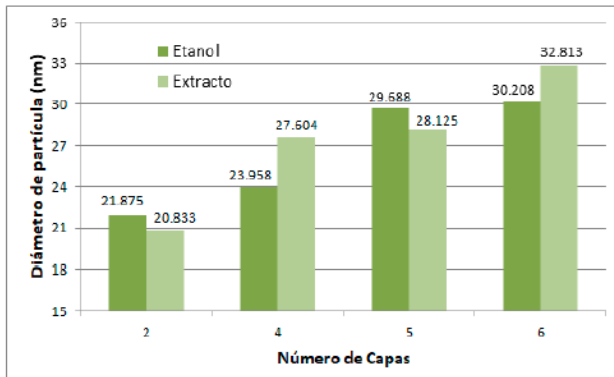


Figura 6. Diámetros promedio de partículas.

Los análisis de área superficial proporcionaron las isothermas de adsorción (Figura 7) para los fotocatalizadores. A partir de ellas, se obtuvieron parámetros como el tamaño de poro (Tabla 1) y área superficial específica (Figura 8).

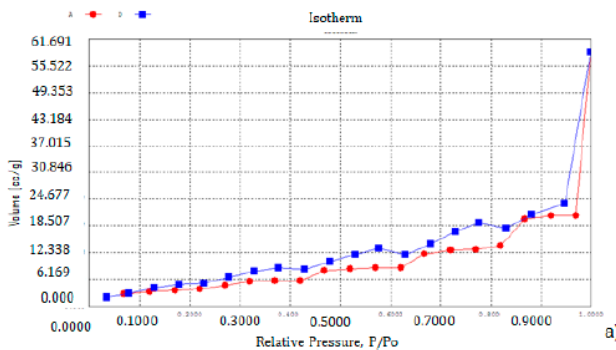


Figura 7. Isothermas de adsorción. Fotocatalizador de TiO<sub>2</sub> a 2 capas de la Ruta I.

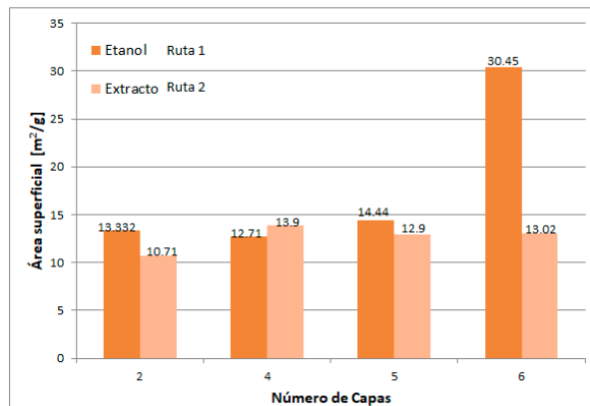
Las isothermas de adsorción-desorción de nitrógeno indican que la Ruta 1 proporcionó materiales macroporosos. Los fotocatalizadores de 2, 4 y 5 capas tuvieron un lazo de histéresis tipo H3, que corresponde a materiales macroporosos con poros en forma de rendija y el fotocatalizador de 6 capas tiene un lazo de histéresis tipo H4 que corresponde a poros similares a los del H3, pero con tamaño y forma uniformes. Por otra parte, para la Ruta 2 se obtuvieron también materiales macroporosos, con un lazo de histéresis tipo H3.

Se presenta a continuación la tabla 1 con los diámetros máximos de poro de cada fotocatalizador.

Tabla 1. Diámetro de poros máximos de los fotocatalizadores (Å)

No. de capas	Ruta 1	Ruta 2
2	31645.9	31381.2
4	31639.6	31642.8
5	31642.8	31639.6
6	31644.6	31639.6

Realizando la comparativa del área superficial (Figura 8) de los fotocatalizadores obtenidos a partir de ambas rutas, se puede apreciar que los obtenidos mediante el precursor con Etanol presentan, en la mayoría de los casos, una mayor área superficial que los obtenidos con el precursor de Extracto, siendo importante mencionar que el fotocatalizador de 6 capas de la Ruta 1 presentó un área superficial significativamente diferente que el área del fotocatalizador de 6 capas de la Ruta 2 y que todos los demás fotocatalizadores.



**Figura 8.** Comparativa de áreas superficiales de los fotocatalizadores obtenidos.

Con base en estos resultados, se puede establecer que el método de síntesis empleado fue efectivo en la obtención de materiales con un área superficial promedio para catálisis. También se obtuvo que los fotocatalizadores con mejor área superficial fueron los obtenidos mediante el precursor basado en Etanol.

Para las pruebas de oxidación fotocatalítica de Aceulfame K, de acuerdo con las posibles cinéticas de reacción, de Orden 0 y de Orden 1 (ecuaciones 1 y 2), los resultados experimentales se analizaron y se ajustaron a alguna de éstas ecuaciones en función de la irradiación ( $I$ ) en lugar del tiempo de reacción.

$$[A]/[A_0] = 1 - 1/[A_0] * kI \quad (1)$$

$$-\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = kI \quad (2)$$

De las pruebas de oxidación fotocatalítica se pudo calcular órdenes de reacción (Tabla 2), la constante de velocidad ( $k$ ) (Tabla 3) y eficiencias (Tabla 4).

**Tabla 2.** Ajuste lineal para las reacciones fotocatalíticas ( $r^2$ ).

Precursor	Capas	Orden 0	Orden 1
Etanol	2	0.99565	0.97872
	4	0.99373	0.98621
	5	0.94836	0.97000
	6	0.97284	0.98385
Extracto etílico	2	0.9927	0.97616
	4	0.98785	0.98304
	5	0.98746	0.98065
	6	0.98746	0.98065

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 2, se puede determinar que los órdenes de reacción de los fotocatalizadores se ajustan ligeramente mejor a uno de orden 0. Esto quiere decir que la velocidad de reacción se puede representar de la siguiente forma:

$$-r_A = k$$

-Esto indica que la velocidad de reacción es constante y por lo tanto es independiente de la concentración del contaminante para este caso. Desde luego, esto no es lo más esperado con base en lo reportado en la literatura [8].

**Tabla 3.** Constantes de velocidad para cinética de Orden 0 (UA/KJ/m<sup>2</sup>)

Capas	Precursor de Etanol	Precursor de Extracto etílico
2	$5.4 \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$
4	$4.0 \cdot 10^{-3}$	$4.7 \cdot 10^{-3}$
5	$3.7 \cdot 10^{-3}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$
6	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$

Debido a que se trata de reacciones de orden cero con constantes de velocidad prácticamente iguales, en términos de orden de magnitud, no hay una diferencia significativa en la velocidad de reacción de ambas rutas.

A continuación (Tabla 4) se muestran las eficiencias en función de la irradiación, para dosis de 90 KJ/m<sup>2</sup>. De acuerdo con los resultados, se deduce que no hay diferencia significativa entre las eficiencias obtenidas en función de los precursores utilizados, mientras que a

mayor número de capas se obtuvo una menor eficiencia. Esto puede deberse a que un porcentaje menor de sitios son activados, esto es un comportamiento esperado ya que un catalizador con mayor número de capas tiene un mayor número de sitios posibles a activarse en comparación a un catalizador con menor número de capas, es decir, con menor número de sitios.

**Tabla 4.** Eficiencias de oxidación fotocatalítica de Acesulfame K ( $E = 90 \text{ KJ/m}^2$ )

Precursor	Capas	Eficiencias	
Etanol	2	0.494	0.447
	4	0.404	0.288
	5	0.382	0.313
	6	0.29	0.31
Extracto etílico	2	0.442	0.457
	4	0.47	0.312
	5	0.333	0.343
	6	0.331	0.31

En algunos casos se encontró que a una irradiación de  $200 \text{ KJ/m}^2$  la eficiencia fue del 90%. Tabla 5.

**Tabla 5.** Eficiencias de oxidación fotocatalítica de Acesulfame K ( $E = 200 \text{ KJ/m}^2$ )

Precursor	Capas	Eficiencias	
Etanol	2	0.927	
	4	0.850	
	5	0.805	
	6	0.598	
Extracto etílico	2	0.987	
	4	0.987	
	5	0.721	
	6	0.609	

## CONCLUSIONES

Se obtuvieron fotocatalizadores de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  en fase anatasa, con forma esférica y superficie macroporosa.

Al incrementar el número de capas de  $\text{TiO}_2$ , se obtuvo mayor porcentaje de fase anatasa, incremento significativo de número de partículas, mejor distribución de éstas en la superficie del soporte, aumento gradual del diámetro de partículas y aumento gradual del área superficial.

No hubo diferencia significativa en la fase anatasa entre los dos precursores analizados; no hubo diferencia significativa en los promedios de diámetros de partículas entre precursores, ni la hubo entre los diámetros máximos de poros ni en la eficiencia de oxidación del Acesulfame K. No existió una diferencia en las propiedades de los fotocatalizadores de  $\text{TiO}_2$  preparados con los dos precursores.

La cinética de la oxidación fotocatalítica del Acesulfame K empleando óxido de titanio depositado en diatomita como fotocatalizador, se ajustó ligeramente mejor a una reacción de orden cero que a una de pseudo orden 1.

La constante de velocidad tuvo un orden de magnitud de entre  $2.7$  y  $5.4 \times 10^{-3}$  para los experimentos con catalizadores del precursor de Etanol y de entre  $3$  y  $5 \times 10^{-3}$  para el precursor de Extracto Etílico. Los valores más altos se encontraron para números de capas de catalizador más pequeños.

El número adecuado de capas en la película del fotocatalizador fue 2.

## AGRADECIMIENTOS

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), Proyecto con clave: IA106216. Se agradece a la DGAPA-UNAM la beca que recibió Leonarda Ivette Martínez García. Se agradece también a la Dra. Ana Leticia Fernández (Laboratorio de Difracción de Rayos X, FESC) y a Dra. Yolanda Marina Vargas Rodríguez (estudio de Área Superficial).

## REFERENCIAS

- [1] Martínez, L. I. (2018). Síntesis y caracterización de foto-catalizadores de  $TiO_2$  para eliminar un contaminante ECP con energía solar. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad Veracruzana, México.
- [2] Rodríguez S., Bermúdez R., Giardina P., Fernández M. (2005). Tratamiento combinado para la decoloración de la Vinaza de Destilería. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 26, 1-6.
- [3] Cuevas R. (2009). Conceptos básicos de catálisis heterogénea. Ciudad de México, México.
- [4] Ochoa, Y., Ortegón, M., Vargas, M., Rodríguez, J. E. (2009). Síntesis de  $TiO_2$ , Fase Anatasa, por el método Pechini. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 931-937.
- [5] Maider, S. (2007). Estudio de la estabilidad mecánica, térmica y actividad de catalizadores para la producción de hidrógeno en un microrreactor. Catalunya: UPC Barcelona.
- [6] Coordinación general de minería. (2013). México
- [7] Rosales, J. A. (2010). Materiales para fotocatalisis y electrofotocatalisis Tesis de licenciatura no publicada, Universidad Veracruzana, México.
- [8] Herrmann, J. M. (2005). Heterogeneous photocatalysis: state of the art and present applications. *Topics in Catalysis*, 34(1-4), 49-65.

## CINÉTICA DE CRECIMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

Yosimara Hinojosa Angeles<sup>2</sup>, Luis Alberto Velázquez García<sup>1</sup>, Octavio Trejo Chavero<sup>2</sup>,  
Alejandra Villegas Pañeda<sup>1</sup>, César González Guerrero<sup>1</sup>, Omar Reyes-Martínez<sup>1</sup>, Leydi Rubi Pérez Vera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Acatlán, Universidad Nacional Autónoma de México, <sup>2</sup>Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco

oreyesm0621@hotmail.com

### RESUMEN

En la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se cuenta con un sistema combinado de tratamiento del agua residual, este sistema involucra un reactor anaerobio y un reactor aerobio o conocido como reactor de lodos activados, en este segundo sistema se encuentra la biomasa en suspensión. En el sistema de lodos activados de la PTAR, como producto de la degradación de la materia orgánica se obtiene nuevo material biológico, por tal motivo el proyecto fue diseñado para estudiar la cinética de crecimiento de los lodos activados y obtener el parámetro cinético correspondiente considerando como reactivo limitante la materia orgánica en el sistema, para este estudio se montaron dos sistemas con aireación continua y se estableció la alimentación por lotes o alimentación batch, el monitoreo del crecimiento se llevó a cabo determinando los sólidos suspendidos totales (SST) y los sólidos suspendidos volátiles (SSV) de los sistemas.

**PALABRAS CLAVE :** agua residual, lodos activados, materia orgánica, cinética.

### ANTECEDENTES

Cuando se va a llevar a cabo un determinado proceso que implica una reacción química (o bioquímica) además de conocerse la cinética debe determinarse el tipo y tamaño del reactor y las condiciones de operación más adecuadas para el fin propuesto. Los equipos en los que se efectúan reacciones homogéneas pueden ser de tres tipos generales: discontinuos (batch), continuos de flujo estacionario, y semicontinuos de flujo no estacionario. Los reactores discontinuos son sencillos de operar e industrialmente se utilizan cuando se han de tratar pequeñas cantidades de sustancias [1]. En un reactor discontinuo ideal no hay entrada ni salida de reactante, además se supone que el reactor está perfectamente agitado, por tal motivo se puede establecer un balance de materia como sigue:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación}$$

Al realizar la sustitución por los términos correspondientes se obtiene:

$$\frac{dC}{dt}V = kC^nV \quad \text{Ec. 1}$$

Donde V establece el volumen del reactor, k está asociada a la tasa de generación, C es la concentración del sistema biológico en el reactor hablando específicamente para una cinética de crecimiento microbiano y n es el orden de la cinética [2].

Considerando que para los sistemas biológicos se establecen cinéticas de primer orden (n=1) con un volumen del reactor constante e integrando desde C = C<sub>0</sub>, t = 0 hasta C = C para t = t. se obtiene la siguiente ecuación:

$$C = C_0 e^{kt} \quad \text{Ec. 2}$$

La cinética describe las velocidades a la cual las reacciones químicas y bioquímicas se desarrollan en diferentes condiciones. Hay cuatro factores que influyen mayoritariamente en la velocidad de bioconversión y estos son: Microorganismos, cantidad de sustrato y biodisponibilidad, macronutrientes y micronutrientes y condiciones ambientales.

El método de tratamiento biológico aerobio hace referencia a la producción de una masa activa de microorganismos contenidos en un reactor capaces de metabolizar y consumir la materia orgánica presente en el agua residual en un medio aerobio.

En un sistema de lodos activados como el que se muestra en la figura 1, el ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de aireadores. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las antiguas se conduce hasta un tanque de sedimentación para ser separados por decantación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra parte se purga del sistema. El empleo de lodos activados ofrece una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales ya que poseen una gran variedad de microorganismos capaces de remover materia orgánica, patógenos y nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), razón por la cual resulta un método ideal para tratar aguas residuales domésticas y municipales.

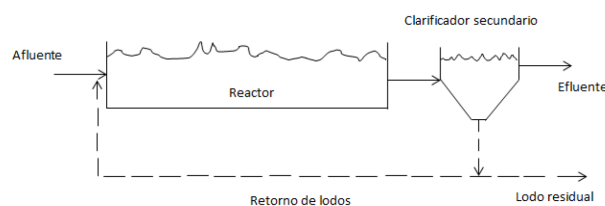


Figura 1. Proceso de lodos activados convencional

Crecimiento en términos de masa bacteriana

El patrón de crecimiento, en términos de masa de microorganismos se presenta en la figura 2 y puede describirse así:

> Fase de latencia: Las bacterias requieren de tiempo para aclimatarse a su ambiente nutricional. La fase de latencia en términos de masa bacteriana no es tan larga como su fase correspondiente

en términos de números de microorganismos porque la masa empieza a incrementarse después de que tiene lugar la división celular.

> Fase de crecimiento exponencial: Existe siempre un exceso en la cantidad de alimento que rodea a los microorganismos, y la velocidad del metabolismo crecimiento es sólo una función de la habilidad del microorganismo para procesar el sustrato.

> Fase de declinación del crecimiento. La velocidad de incremento de la masa bacteriana disminuye debido a la limitación en el suministro de alimento.

> Fase endógena. Los microorganismos son forzados a metabolizar su protoplasma sin que haya reemplazo, debido a que la concentración de alimento disponible se encuentra al mínimo. Durante esta fase puede ocurrir el fenómeno conocido como lisis, en el cual los nutrientes que quedan en las células muertas se difunden hacia el exterior para suministrar alimento a las células vivas restantes [3].

Existen muchas maneras de determinar la concentración de biomasa como por ejemplo masa, volumen, extensión lineal de filamentos, dispersión de luz, conteo de células u organelas [4]. Sin embargo, en diferentes áreas de la ingeniería se ha generalizado la determinación de biomasa como sólidos suspendidos volátiles (SSV) o como demanda química de oxígeno (DQO) [5].

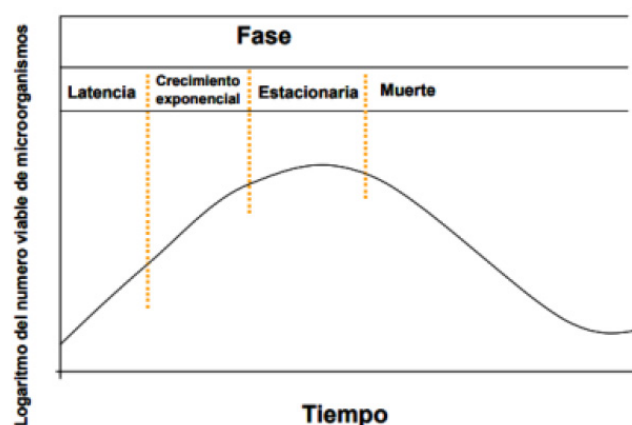


Figura 2. Ciclo de vida de un sistema alimentado por lotes

## OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento cinético del crecimiento de lodos activados.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Construir un reactor de lodos activados piloto con un sistema de alimentación de aire continuo y operarlo bajo alimentación por lotes.

Evaluar el sistema biológico con un agua residual no sintética tomada del agua de descargas de la facultad.

Obtener la constante de proporcionalidad (tasa de crecimiento) del sistema de lodos activados en alimentación por lotes.

## PARTE EXPERIMENTAL

Se construyó un par de sistemas de aireación en circuito cerrado con tubería de pvc perforada equidistantemente, los sistemas fueron colocados al fondo de los prototipos, el aire para los sistemas se tomó de la válvula de alivio de aire del reactor de la PTAR. En la figura 3 se observan los sistemas de aireación de los prototipos y en la figura 4 se muestran los prototipos en pruebas preliminares de funcionamiento.



Figura 3. Sistema de aireación para los prototipo



Figura 4. Montaje de prototipos y prueba de funcionamiento.

Para la puesta en marcha se consideraron diferentes alimentaciones; el reactor 1 se montó con 10 litros de licor de mezclado tomado del reactor aerobio de la PTAR más 10 litros de agua del efluente del tanque de equalización; en el reactor 2 se agregaron 10 litros de licor de mezclado tomado también del reactor aerobio, adicionalmente se colocaron 5 litros de agua bidestilada y 5 litros de agua del efluente del TEC-01, el montaje se presenta en la figura 5. La demanda química de oxígeno (DQO) inicial para el reactor 1 fue de 713 mg/L y para el reactor 2 de 368 mg/L.



Figura 5. Puesta en marcha de los reactores prototipo

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para observar el funcionamiento de los sistemas biológicos en ambos reactores, se realizó la prueba de consumo de oxígeno en un periodo de 30 minutos con mediciones en intervalos de 2 minutos, en el gráfico de la figura 6 se muestra el comportamiento del agotamiento de oxígeno, lo que implica un adecuado funcionamiento biológico.

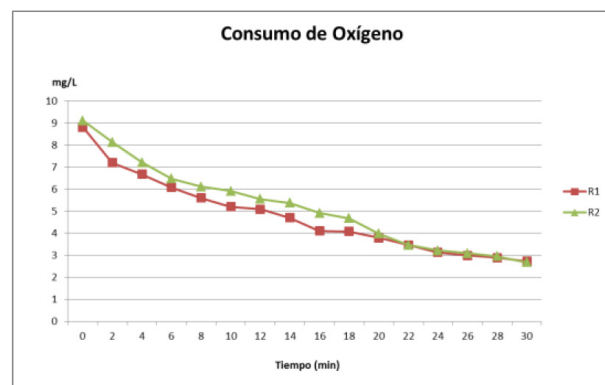


Figura 6. Gráfico del consumo de oxígeno

El monitoreo de los sistemas se llevó a cabo en un periodo de tiempo de 10 días durante los cuales se realizaron análisis de sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos suspendidos volátiles (SSV), en la figura 7 se muestra el comportamiento de ambos parámetros y se observa claramente que la tendencia de crecimiento es similar con un respectivo desfase debido a la diferencia de materia orgánica o alimento suministrada al tiempo cero.

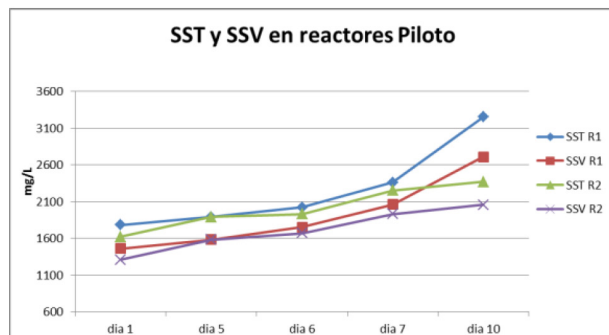


Figura 7. Gráfico del consumo de oxígeno

Para obtener la constante de proporcionalidad (tasa de crecimiento) se realizó un gráfico de la concentración vs el tiempo utilizando la ecuación 2 y convirtiéndola a su forma lineal como se muestra a continuación:

$$\ln(C) = \ln(C_0) + kt \quad \text{Ec.3}$$

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = kt \quad \text{Ec.4}$$

Se tomaron los valores hasta el día 7 ya que es la parte lineal obtenida de la Figura 7, al realizar los gráficos correspondientes se agregó una línea de tendencia a cada curva y se obtuvo la ecuación correspondiente, mismas que se muestran en la figura 8 donde el valor de la pendiente "m" se denota como la constante de proporcionalidad, siendo así un valor de  $0.1218 \text{ t}^{-1}$  para el reactor 1 y de  $0.1135 \text{ t}^{-1}$  para el reactor 2.

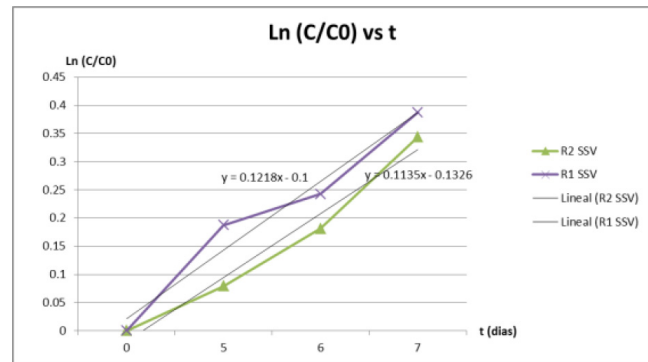


Figura 8. Gráfico de Concentración vs tiempo

## CONCLUSIONES

Se construyeron dos reactores de lodos activados con aireación continua y se operaron con una mezcla de licor de mezclado obtenido del reactor de la PTAR y agua obtenida de las descargas de la facultad (Agua no sintética). Para el reactor 1 que inicio con una DQO de  $713 \text{ mg/L}$  se obtuvo una constante de proporcionalidad con un valor de  $0.1218 \text{ t}^{-1}$  y para el reactor 2 que inicio con un DQO de  $368 \text{ mg/L}$  se obtuvo una constante de  $0.1135 \text{ t}^{-1}$ .

## REFERENCIAS

- [1] López, I., Borzacconi, L. (2009). Notas de curso Introducción al diseño de reactores. México.
- [2] Couto, R. M. (2009). Tesis: Uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales en el entorno de la Laguna de Tamiahua, Veracruz". Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de las Americas Puebla.
- [3] Moeller, G., & Tomasini Ortiz, A. C. (2004). Microbiología de lodos activados. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/5Microbiologiadelodosactivados.pdf>
- [4] Pirt, S. J. (1975). Principles of microbe and cell cultivation. New York: John Wiley and Sons.
- [5] Contreras, E. (2002). A modified method to determine biomass concentration as COD in pure cultures and in activated sludge systems. Water S. A. 28 (4), 463-468.



## DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN REACTOR TIPO UASB PILOTO

Itzia Xiuhnelly Ocejo Pineda, Alejandra Villegas Pañeda, César González Guerrero,  
Omar Reyes-Martínez, Leydi Rubi Pérez Vera

Facultad de Estudios Superiores Acatlán, Universidad Nacional Autónoma de México

[oreyesm0621@hotmail.com](mailto:oreyesm0621@hotmail.com)

### RESUMEN

El objetivo del presente proyecto fue diseñar, construir y poner en marcha un reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) piloto para evaluar si existe algún efecto en el lodo anaerobio al agregar lodo aerobio proveniente del sistema de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la FES-Acatlán. El diseño del prototipo se realizó bajo condiciones similares a las del reactor anaerobio de la PTAR, se consideró un rango del tiempo de retención hidráulica (TRH) entre 11 y 25 horas, el lodo anaerobio fue tomando del reactor de la PTAR y se consideró un volumen de 0.0066 m<sup>3</sup>, para la puesta en marcha se utilizó agua residual proveniente de las descargas de la facultad.

**PALABRAS CLAVE:** reactor UASB, lodos activados, tiempo de retención hidráulica, lodo anaerobio, agua residual.

### ANTECEDENTES

Digestión anaerobia en México.

El desarrollo de la digestión anaerobio en México inicio tardíamente en comparación con países europeos y norteamericanos, fue en 1987 la construcción del primer digestor en el país. Hasta 1992 se alcanzó un crecimiento del 400% al construirse 16 reactores y un máximo de 19 en 1993. Para 1994 hubo una disminución abrupta debido a la crisis económica por la cual atravesaba el país [1].

El primer reactor UASB para tratar aguas residuales municipales se construyó en 1989 en la Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa como una unidad de demostración, con una capacidad de 50 m<sup>3</sup>. Posteriormente se añadieron dos unidades de 2200 m<sup>3</sup> cada una, construidas por el gobierno [1].

Mecanismo de la digestión anaerobia

La descomposición anaerobia conduce a la degradación de la materia orgánica y su transformación, en ausencia de oxígeno libre, en compuestos más simples como metano y dióxido de carbono. Se trata de un proceso complejo que es consecuencia de reacciones complejas.

Los microorganismos causantes de la descomposición anaerobia generalmente son clasificados en dos grandes grupos; el primer grupo hidroliza y transforma los compuestos orgánicos en ácidos volátiles, de los cuáles los más comunes son el acético y el propiónico, el segundo grupo convierte los ácidos volátiles formados en CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Ambos grupos de microorganismos son necesarios para la descomposición anaerobia. Las bacterias formadoras de ácido no son capaces de producir

$\text{CH}_4$  y las formadoras de metano no pueden por sí mismas descomponer la materia orgánica original en compuestos más sencillos.

Analizando en mayor detalle la descomposición de la materia orgánica, puede plantearse que, mediante la acción hidrolítica, los microorganismos degradan los polímeros como los polisacáridos y proteínas, a monómeros. Posteriormente estos monómeros son convertidos en ácidos volátiles. Finalmente es que se produce la formación de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ . Así en la digestión anaerobia se distinguen cuatro niveles tróficos: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

**Reactores Anaeróbicos de Flujo Ascendente UASB**  
El concepto UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) tiene ventajas sobre otras tecnologías anaeróbicas ya que no requiere medio de soporte como el filtro anaerobio, y puede recibir altas cargas orgánicas a diferencia del reactor de contacto anaerobio; es así como este concepto es el más difundido en Europa y América Latina, en lo que a reactores anaeróbicos se refiere [2].

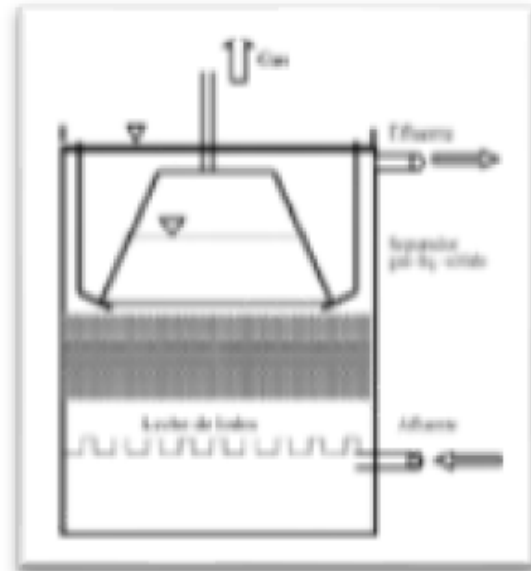
La carga permisible en los procesos anaerobios está limitada por la edad del lodo en los reactores. La necesidad en mantener altas edades de lodo ha sido siempre el mayor problema práctico de la aplicación de estos procesos, especialmente para residuales con demanda bioquímica de oxígeno relativamente baja (500 mg/L) [3].

En la figura 1 se presenta un esquema típico de un reactor tipo UASB, en este tipo de reactores el agua residual se alimenta por el fondo, se distribuye uniformemente por toda el área y asciende a través del manto biológicamente activo en el que experimenta las transformaciones típicas de la descomposición anaerobia. El  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  formando ascienden a lo largo del reactor y son extraídos por el domo superior.

Su principio de funcionamiento se basa en la capacidad de sedimentación de la biomasa producida en el reactor. Esta se aglomera en forma de granos de 1 a 3 mm de diámetro y presenta elevada actividad metanogénica.

El lavado o escape de los flocúlos más pequeños de la zona del manto, generalmente se minimiza creando dentro del propio reactor una zona tranquila que posibilita que estas partículas vuelvan a

sedimentar, esta zona se construye con los deflectores dentro del reactor [3].



**Figura 1.** Esquema de reactor de manto de lodos (Menéndez Gutiérrez, 2007).

A continuación, se enlistan condiciones que favorecen la buena operación de este tipo de reactores [3]:

- > Elevada concentración de biomasa.
- > Elevada actividad de la biomasa.
- > Altos tiempos de retención (edad de lodo) de la biomasa.
- > Bajos tiempos de retención hidráulicos.
- > Producción de biogás tal, que exista una buena distribución del lodo sobre el lecho y en la zona que corresponde a la biomasa dispersa.

Ventajas y desventajas de los reactores UASB sobre sistemas aerobios

> Ventajas

- Se requiere menor energía puesto que no requiere de aireación.
- Menor producción de lodos ya que la retención de biomasa es muy buena.
- Producción de metano, fuente potencial de energía.
- Rápida respuesta a la adición de sustrato después de largos periodos sin alimentarse, pues los lodos se conservan por largos periodos de tiempo.

### > Desventajas

- Largos periodos de arranque.
- Requiere tratamientos posteriores para alcanzar la normatividad.
- Potencial producción de olores y gases corrosivos. Su aplicación debe ser monitoreada y puede requerir un pulimiento posterior de su efluente, además se generan malos olores sino es eficazmente controlado.

### Factores básicos

#### -----Bacterias

Las formadoras de metano son las bacterias clave en la digestión anaerobia. Crecen más lentamente y son más sensible a los cambios ambientales que las formadoras de ácido [3].

#### -----Sustrato

El sustrato para las bacterias está constituido por los compuestos orgánicos a ser estabilizados. Los compuestos orgánicos que se someten a digestión anaerobia comúnmente son de estructura muy compleja, que como ya fue mencionado, son transformados a través de sucesivas etapas hasta la obtención de los productos finales [3].

#### -----Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)

El tiempo de retención hidráulica se define como el tiempo que permanece el agua residual dentro del reactor [4].

Para el cálculo del TRH se emplea la siguiente ecuación:

$$TRH=V/Q \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

TRH = tiempo de retención hidráulica (día).

V = volumen del reactor (m<sup>3</sup>).

Q = gasto en el afluente (m<sup>3</sup>/día).

#### -----Arranque de un reactor UASB

El arranque de los sistemas anaerobios consiste en hacer ingresar el agua residual al sistema y procurar mantener las condiciones idóneas para el desarrollo de la biomasa anaerobias [5].

Desde que se inicia el arranque hasta que se considera se ha alcanzado la estabilidad del proceso, lo más importante es la retención de biomasa viable dentro del reactor y su posterior acumulación, aspecto que tiene mucho que ver con la formación de gránulos.

#### -----Configuración de un reactor UASB

Los reactores tipo UASB más usados son los de forma circular, para evitar la formación de zonas muertas en la distribución del afluente y los componentes mínimos de un reactor se enlistan a continuación:

- > Sistema de alimentación.
- > Manto de lodo.
- > Deflectores.
- > Sistema de separación trifásico (campanas).

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y operar un prototipo de reactor anaerobio tipo flujo ascendente UASB bajo condiciones similares de operación al reactor de la PTAR.

### OBJETIVO ESPECÍFICO

Poner en marcha y evaluar el funcionamiento del reactor realizando un comparativo con el de la PTAR.

### PARTE EXPERIMENTAL

El proyecto se realizó en 3 etapas que a continuación se describen:

#### Etapa 1: Parámetros de diseño

Para el diseño del prototipo se consideró el TRH ideal del reactor de la PTAR (6.66 h) con el flujo teórico máximo de operación de 7.5 L/s (27 m<sup>3</sup>/h) y un volumen de lodo anaerobio de un tercio del volumen total.

El volumen del prototipo es de 19.9 litros y considerando el TRH del reactor 6.66 h se requiere regular un flujo de entrada al prototipo de 49.94 mL/min.

$$Q_p = \frac{V_p}{TRH} = \frac{0.01996m^3}{6.66h} = 0.002996 \frac{m^3}{h} = 49.94 \frac{mL}{min}$$

#### Etapa 2: Construcción del prototipo.

La construcción del prototipo se realizó con un tubo de PVC de 6 pulgadas de diámetro y 1.1 metros de altura. Esta geometría para el prototipo del reactor anaerobio corresponde a un tanque circular completamente tapado y se decidió esta forma con la finalidad de evitar la formación de zonas muertas en la alimentación.

En la parte inferior del prototipo se encuentra la alimentación al sistema, se colocó una placa de acríli-

co perforada para garantizar la uniformidad en el sistema (figura 2), la alimentación está conectada a un tanque elevado de 19 litros a una altura de 1.70 m respecto de la base del prototipo, se regula el flujo con una válvula que se encuentra a la entrada de la alimentación del prototipo.



**Figura 2.** Sistema de alimentación (Placa de acrílico perforada).

Posterior al sistema de alimentación se encuentra la zona de la cama de lodo, el lodo granular se tomó del reactor de la PTAR. A lo largo del tubo de PVC hay dos sistemas de drenado para recolectar muestras y monitorear el lodo granular dentro del sistema a diferentes niveles. En la parte superior el prototipo cuenta con un sistema de separación trifásica (figura 3), el sistema de deflexión fue construido con acrílico.



**Figura 3.** Sistema de separación trifásica.

### *Etapa 3: Puesta en marcha*

Con la finalidad de mantener el prototipo bajo condiciones similares a las de funcionamiento del reactor de la PTAR, se decidió operar el prototipo bajo un rango de TRH entre 11 y 20 h, lo que implica realizar regulación en el flujo de entrada para alimentar entre 15 y 30 mL/min.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se logró construir un prototipo de reactor tipo UASB como se muestra en la figura 4 el cual contiene los componentes mínimos de un sistema de este tipo.



**Figura 4.** Prototipo de reactor UASB.

Se realizaron pruebas iniciales de alimentación para establecer el funcionamiento del prototipo, el TRH fue monitoreado para establecer el rango de operación, en el gráfico de la figura 5 se observa que se ha mantenido dentro del rango establecido, el monitoreo se realizó durante un lapso de un mes.

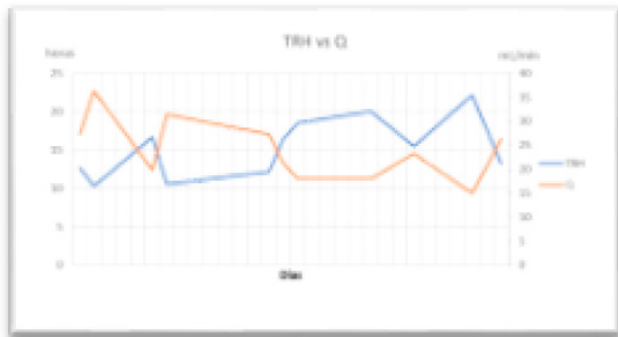


Figura 5. Tiempo de retención hidráulica vs flujo.

Posterior al tiempo de observación de funcionamiento respecto al TRH se realizó un seguimiento del parámetro de la Demanda Química de Oxígeno, teóricamente el valor de DQO del efluente del prototipo debería ser igual al valor del efluente del reactor de la PTAR. En la figura 6 se presenta el gráfico del monitoreo de 3 días en un lapso de 15 días de operación, el valor de DQO obtenido del prototipo se encuentra entre los 440 y 660 mg/L siendo un valor superior al reportado para el DQO del efluente del reactor, sin embargo, si existe degradación de la materia orgánica al ser valores inferiores a los obtenidos para el efluente del tanque de equalización.

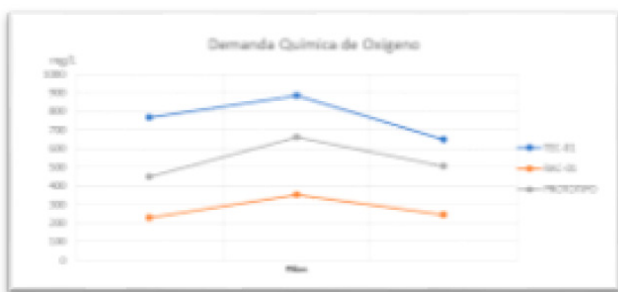
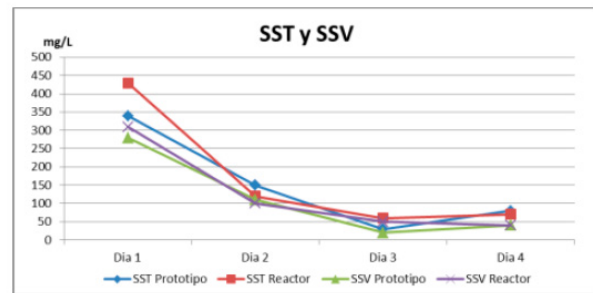


Figura 6. Prototipo de reactor UASB.

El parámetro referido a los Sólidos Suspendedos Totales (SST) fue un procedimiento hecho tanto al prototipo como al efluente del reactor anaerobio (RAC-01) de la PTAR, En el gráfico de la figura 7 se puede observar que el comportamiento mantiene un patrón a disminuir una vez que se estabiliza la alimentación en un periodo de 4 días.



## CONCLUSIONES

Se construyó un prototipo de reactor tipo UASB bajo condiciones de operación similares a las del reactor de la PTAR de la FES-Acatlán que durante su etapa de arranque mostró una operación similar a la del reactor, este reactor piloto servirá para realizar estudios sobre el sistema anaerobio al incluir lodos activados ya que el reactor puede funcionar también como un digestor anaerobio.

## REFERENCIAS

- [1] Monroy O., Famá, G. (2000). Anaerobic Digestion for wastewater treatment in Mexico: state of the technology. *Water Research*, 34(6), 1803-1816.
- [2] Noyola, A. (1999). Desarrollo de tecnologías mexicanas en tratamiento de aguas residuales: una experiencia. *Interciencia*, 24(3), 169-172.
- [3] Menéndez-Gutiérrez, C. (2007). *Aguas Residuales*. La Habana: Universitaria.
- [4] CONAGUA., C. N. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. México.
- [5] Noyola, A. (1994). Diseño, inoculación y arranque de reactores UASB. Montevideo Uruguay: Universidad de la Republica.



AÑO 2, No. 2, ENERO-DICIEMBRE 2018