



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
SECCIÓN DE QUÍMICA ANALÍTICA



Determinación espectrofotométrica de arsénico por dos métodos de cuantificación

Objetivo. Diferenciar las características relacionadas con una curva de adición patrón y curva de valoración, así como el análisis de los resultados respectivos mediante la resolución paso a paso de un ejercicio, empleando datos espectrofotométricos de un problema vinculado con el sector salud, que implica la determinación de un analito en la misma muestra.

Material de apoyo para las carreras de: Química, Farmacia, Química Industrial, Ingeniería Química, Bioquímica Diagnóstica, para las asignaturas de Química Analítica en las que se revisan los temas de espectrofotometría de absorción molecular y curvas de valoración y curvas de adición patrón.

Elaborado por Alma Luisa Revilla Vázquez (almarv@unam.mx) y Luis Ángel Ojeda Gómez, en mayo del 2023, en el marco del proyecto PAPIME PE209023.

D. R. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL).<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

ENTIDAD EDITORA. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.



Usted es libre de **compartir**, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia.

Atribución: Usted debe dar crédito de manera adecuada y brindar un enlace a la licencia. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

No Comercial: Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

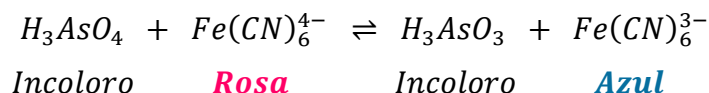
Sin Derivadas: Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado.

Forma sugerida de citar: Revilla, A. y Ojeda, L. (2023). Determinación espectrofotométrica de arsénico por dos métodos de cuantificación. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

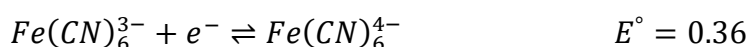
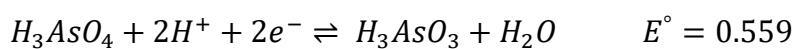
DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE POZO

Se debe determinar periódicamente la cantidad de arsénico (AsO_4^{3-}) en agua de pozo cerca del volcán Popocatepetl debido a que es bien sabido que este elemento está presente en las emisiones de éste. Para dicha determinación se toman 5 L de agua del pozo en un envase con tapa, se agregan 100 ml de ácido nítrico, se tapa y se lleva al laboratorio (Sol A).

Se utilizan dos métodos de cuantificación para confirmar la cantidad de arsénico en la muestra. En ambos métodos la muestra es previamente tratada con ácido nítrico, esto impone un pH ácido, por lo que la especie de arsénico presente en el sistema es la especie protonada (H_3AsO_4), y la reacción química asociada es:



Datos:



Masa Atómica As: 74.9 g/mol



Figura 1. Esquematzación del tratamiento de la muestra de agua de pozo a analizar.

BALANCEAR LA RXN Y CALCULAR LA K_{eq}

A partir de los datos de las semirreacciones:

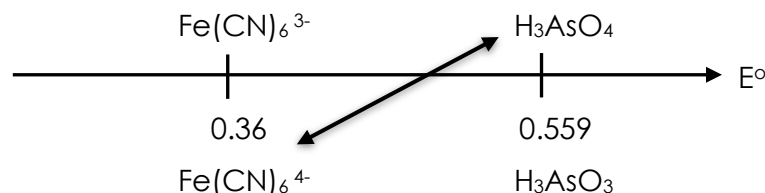
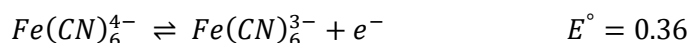
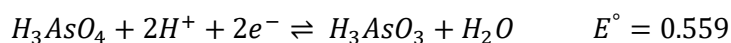
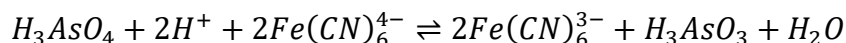
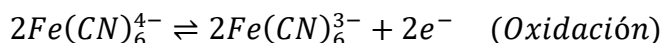
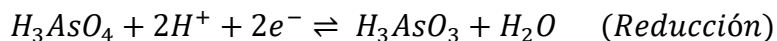


Figura 2. Escala de potencial que indica la reacción espontánea y cuantitativa entre las especies involucradas.

Para obtener la reacción balanceada, se suman las semireacciones, siendo necesario que en ambas se intercambien la misma cantidad de electrones, para ello se multiplica por 2 la semirreacción de ferrocianuro/ferricianuro.



En esta reacción, el arsénico se reduce, pues pasa de un estado de oxidación (5⁺) a (3⁺) mientras que el hierro pasa de un estado de oxidación (2⁺) a (3⁺).

Para calcular la constante de equilibrio asociada a la reacción se hace uso de los potenciales estándar de las semireacciones y se sustituyen en la siguiente ecuación:

$$K_{eq} = 10^{n \left(\frac{E_{Oxidante}^{\circ} - E_{Reductor}^{\circ}}{0.0592} \right)}$$

Donde “n” es el número de electrones intercambiados en la reacción, que para este caso son dos. De las semireacciones se puede concluir que el arsénico es el agente oxidante, mientras que el hierro es el agente reductor. Con base en esto, se sustituyen los valores de potencial y se obtiene el valor de la constante de equilibrio para la reacción global:

$$K_{eq} = 10^{2 \left(\frac{0.559 - 0.36}{0.0592} \right)} = 10^{6.72}$$

MÉTODO 1.

Se utiliza $[AsO_4^{3-}]_{STD} = 1 \times 10^{-4} M$ (arsénico estándar) y $[Fe(CN)_6^{4-}] = 9 \times 10^{-4} M$ (ferrocianuro). Se preparan los sistemas para la curva (tabla 1) y se determina la absorbancia a 710 nm.

Tabla 1. Preparación de los sistemas para la curva.

Sistema	1	2	3	4	5	6	7	8
V _{prob} (ml)	10	10	10	10	10	10	10	10
V _{AsO₄³⁻ std} (ml)	0	1	2	3	4	5	6	7
V _{Fe(CN)₆} (ml)	5	5	5	5	5	5	5	5
V _{H⁺} (ml)	7	7	7	7	7	7	7	7
A ⁷¹⁰	0.301	0.616	0.962	1.306	1.651	1.996	2.341	2.685

IDENTIFICAR EL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN QUE SE UTILIZA

Dada la preparación de los sistemas (tabla 1), se observa que **todos los sistemas tienen solución problema, no se llevan a un volumen de aforo y hay una reacción asociada a la determinación**, por lo que se concluye que se emplea una **curva de adición patrón indirecta con efecto de dilución**.

PLANTEAR LA TABLA DE VARIACIONES DE CANTIDADES MOLARES

Al tratarse de una curva de adición patrón indirecta, se debe recordar que el agente reaccionante (ferrocianuro) se encuentra en exceso y lo que se adiciona es la solución problema y arsénico estándar de modo que, tomando en cuenta únicamente las especies de interés, la tabla de variaciones de cantidades molares (TVCM) queda como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. TVCM para la cuantificación de arsénico por una curva de adición patrón indirecta

	H_3AsO_4	+	$2Fe(CN)_6^{4-}$	$\rightleftharpoons$	H_3AsO_3	+	$2Fe(CN)_6^{3-}$
Inicio	$V_0 C_0$						
Se agrega 1	$V_P C_P$						
Equilibrio 1	ε		$V_0 C_0 - 2V_P C_P$		$V_P C_P$		$2V_P C_P$
Se agrega 2	$V_{STD} C_{STD}$						
Equilibrio 2	ε		$V_0 C_0 - 2V_P C_P - 2V_{STD} C_{STD}$		$V_P C_P + V_{STD} C_{STD}$		$2V_P C_P + 2V_{STD} C_{STD}$

DETERMINE QUÉ ESPECIE(S) DA(N) LA PROPIEDAD

Siendo una cuantificación espectrofotométrica, la ecuación que rige es la Ley de Lambert-Beer ($A = \varepsilon l C$). Basándose en los valores de absorbancia obtenidos para la curva se observa que conforme se aumenta la concentración de arsénico estándar aumenta la señal, por tanto la absorbancia es debida al **ferricianuro**: $[Fe(CN)_6^{3-}]$, el cual presenta una coloración azul, que absorbe sin duda en 710nm.

DAR LA ECUACIÓN QUE DEFINE A LA RECTA

Sabiendo que la especie que da la propiedad es el ferricianuro, se tiene que:

$$A = \varepsilon l \left(\frac{2V_P C_P + 2V_{STD} C_{STD}}{V_{Total}} \right)$$

En donde V_{Total} hace referencia al volumen total del sistema, para este caso $V_{Total} = V_0 + V_P + V_{STD}$.

Sin embargo, cuando se presenta un efecto de dilución es necesario corregirlo para poder llevar a cabo una cuantificación confiable. Para corregir el efecto de dilución se multiplican ambos términos de la ecuación por el factor de dilución $\left[\frac{V_0 + V_P + V_{STD}}{V_0}\right] = c$, lo que no altera la igualdad:

$$A \left[\frac{V_{Total}}{V_{cte}} \right] = \epsilon l \left(\frac{2V_P C_P + 2V_{STD} C_{STD}}{V_{Total}} \right) \left[\frac{V_{Total}}{V_{cte}} \right] \equiv A' = A_{exp} \left[\frac{V_{Total}}{V_0} \right]$$

En donde V_{cte} hace referencia al volumen que se mantiene constante a la hora de preparar los sistemas para la construcción de la curva y definiéndose así el término de absorbancia corregida (A'), la cual se deberá calcular para cada sistema preparado a partir de la absorbancia experimental obtenida (A_{exp}). Simplificando la expresión, se obtiene:

$$A' = \epsilon l \left(\frac{2V_P C_P + 2V_{STD} C_{STD}}{V_{cte}} \right)$$

Arreglando la ecuación para que se ajuste al modelo matemático de una línea recta, queda:

$$A' = \epsilon l \left(\frac{2V_P C_P}{V_{cte}} \right) + \epsilon l 2 \left(\frac{V_{STD} C_{STD}}{V_{cte}} \right)$$

Donde se identifica cada término con relación a la ecuación del modelo lineal:

$$y = b + m x$$

Por otro lado, para poder construir la gráfica de $A' = f[AsO_4]$ y obtener la ecuación de ajuste lineal es necesario calcular la concentración del estándar de arsénico, tomando como volumen inicial la suma de los volúmenes que se mantienen constantes, es decir, 22 mL, el cual se sustituye en la ecuación:

$$[AsO_4^{3-}]_{Sistema} = \frac{[AsO_4^{3-}]_{STD} * V_{STD}}{V_0}$$

Calculando la concentración de cada sistema, se obtiene:

$$\begin{aligned} [AsO_4^{3-}]_{Sistema\ 1} &= \frac{(1 \times 10^{-4} M)(0\ mL)}{22\ mL} = 0\ M \\ [AsO_4^{3-}]_{Sistema\ 2} &= \frac{(1 \times 10^{-4} M)(1\ mL)}{22\ mL} = 4.55 \times 10^{-6}\ M \\ [AsO_4^{3-}]_{Sistema\ 3} &= \frac{(1 \times 10^{-4} M)(2\ mL)}{22\ mL} = 9.09 \times 10^{-6}\ M \\ [AsO_4^{3-}]_{Sistema\ 4} &= \frac{(1 \times 10^{-4} M)(3\ mL)}{22\ mL} = 1.36 \times 10^{-5}\ M \\ [AsO_4^{3-}]_{Sistema\ 5} &= \frac{(1 \times 10^{-4} M)(4\ mL)}{22\ mL} = 1.82 \times 10^{-5}\ M \\ [AsO_4^{3-}]_{Sistema\ 6} &= \frac{(1 \times 10^{-4} M)(5\ mL)}{22\ mL} = 2.27 \times 10^{-5}\ M \\ [AsO_4^{3-}]_{Sistema\ 7} &= \frac{(1 \times 10^{-4} M)(6\ mL)}{22\ mL} = 2.73 \times 10^{-5}\ M \end{aligned}$$

$$[AsO_4^{3-}]_{Sistema\ 8} = \frac{(1 \times 10^{-4} M)(7\ mL)}{22\ mL} = 3.18 \times 10^{-5}\ M$$

Del mismo modo, es necesario calcular la absorbancia corregida aplicando el factor de corrección, a la absorbancia obtenida experimentalmente:

$$A' = A_{exp} \left(\frac{V_0 + V_{agregado}}{V_0} \right)$$

Obteniendo la absorbancia corregida para cada sistema, se tiene:

$$A'_{Sistema\ 1} = 0.168 \left(\frac{22\ mL + 0\ mL}{22\ mL} \right) = 0.368$$

$$A'_{Sistema\ 2} = 0.616 \left(\frac{22\ mL + 1\ mL}{22\ mL} \right) = 0.644$$

$$A'_{Sistema\ 3} = 0.962 \left(\frac{22\ mL + 2\ mL}{22\ mL} \right) = 1.049$$

$$A'_{Sistema\ 4} = 1.306 \left(\frac{22\ mL + 3\ mL}{22\ mL} \right) = 1.484$$

$$A'_{Sistema\ 5} = 1.651 \left(\frac{22\ mL + 4\ mL}{22\ mL} \right) = 1.951$$

$$A'_{Sistema\ 6} = 1.996 \left(\frac{22\ mL + 5\ mL}{22\ mL} \right) = 2.449$$

$$A'_{Sistema\ 7} = 2.341 \left(\frac{22\ mL + 6\ mL}{22\ mL} \right) = 2.979$$

$$A'_{Sistema\ 8} = 2.685 \left(\frac{22\ mL + 7\ mL}{22\ mL} \right) = 3.539$$

Una vez obtenidos los datos necesarios (tabla 3), se deben de graficar para obtener la regresión lineal y sus parámetros asociados.

Tabla 3. Datos para la construcción de la gráfica y análisis de regresión lineal.

Sistema	1	2	3	4	5	6	7	8
A'	0.301	0.644	1.049	1.484	1.951	2.449	2.979	3.539
[AsO ₄] M	0	4.55x10 ⁻⁶	9.09x10 ⁻⁶	1.36x10 ⁻⁵	1.82x10 ⁻⁵	2.27x10 ⁻⁵	2.73x10 ⁻⁵	3.18x10 ⁻⁵

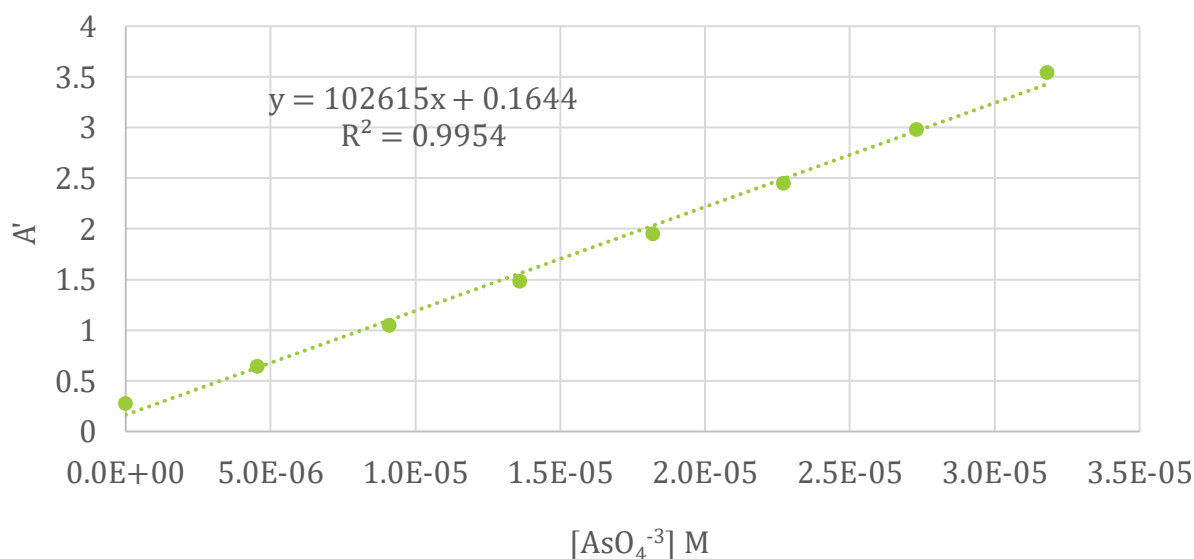


Figura 3. Curva de adición patrón $A' = f [AsO_4]$.

CALCULAR LA CONSTANTE DE PROPORCIONALIDAD PARA LA ESPECIE DA PROPIEDAD

Siendo una cuantificación espectrofotométrica, la constante de proporcionalidad es el coeficiente de absortividad molar.

Partiendo de la ecuación

$$A' = \epsilon l \left(\frac{2V_P C_P}{V_{cte}} \right) + \epsilon l 2 \left(\frac{V_{STD} C_{STD}}{V_{cte}} \right)$$

Se puede calcular el coeficiente a partir de la siguiente igualdad:

$$m = \epsilon l 2$$

Despejando:

$$\epsilon = \frac{m}{2l}$$

Sustituyendo los valores y calculando el valor del coeficiente de absortividad para el ferricianuro, se obtiene:

$$\epsilon = \frac{102175 \text{ M}^{-1}}{2(1 \text{ cm})} = \mathbf{51087.5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ a } 710 \text{ nm}}$$

CALCULAR LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA DE POZO

Para calcular la concentración de arsénico, mediante la ecuación

$$A' = 102175[As] + 0.1644$$

Se despeja la concentración de arsénico, [As], cuando $A' = 0$.

Despejando y sustituyendo los valores se tiene:

$$[As]_{Prob} = \frac{b}{m} = \frac{0.1644}{102175} = 1.61 \times 10^{-6} M \text{ en sistema de medición}$$

Para calcular la concentración de arsénico en el agua de pozo acidulada y en la muestra tomada del pozo es necesario tomar en cuenta las diluciones realizadas:

$$1.61 \times 10^{-6} M \left(\frac{22 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} \right) = 3.54 \times 10^{-6} M \text{ en el agua acidulada}$$

$$3.54 \times 10^{-6} M \left(\frac{5.1 \text{ L}}{5 \text{ L}} \right) = 3.61 \times 10^{-6} M \text{ en el agua del pozo}$$

Calculando la concentración en microgramos/litro (ppb), se tiene:

$$3.61 \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \left(\frac{74.9 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right) \left(\frac{10^6 \mu\text{g}}{1 \text{ g}} \right) = 270.4 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}}$$

MÉTODO 2.

Se toman 10 mL de alícuota de una solución de ferrocianuro $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}] = 9.05 \times 10^{-6} M$ y se transfieren a un matraz Erlenmeyer, el cual se valora con el agua de pozo previamente vertida en una bureta. En cada adición se agita y se determina la absorbancia a 498 nm.

Tabla 4. Datos de absorbancia obtenidos durante la valoración

V(mL)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A ⁴⁹⁸	1.22	1.0	0.83	0.69	0.57	0.47	0.38	0.29	0.22	0.16	0.10	0.05	0.02	0	0

IDENTIFICAR EL MÉTODO DE CUANTIFICACIÓN QUE SE UTILIZA

No se indica una tabla de preparación de sistemas, sin embargo el texto refiere que se realizará una valoración y solo se comentan dos soluciones: ferrocianuro $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}] = 9.05 \times 10^{-6} M$ y el agua de pozo como valorante.

En las curvas de valoración, lo común es tener solamente dos soluciones: solución problema y la del titulante (valorante); no es necesario contar con una solución estándar del analito a determinar. Además, dado que la valoración procede en un vaso de precipitado o matraz Erlenmeyer, se tiene un efecto de dilución debido a la adición de la solución en la bureta.

En este caso en particular, se está colocando la solución problema en la bureta y la solución del valorante se está colocando en el matraz Erlenmeyer como un volumen de alícuota conocida.

PLANTEAR LA TABLA DE VARIACIONES DE CANTIDADES MOLARES

En este método se emplea una curva de valoración, por lo que la concentración de las especies estará en función del volumen total y se tendrán dos rectas; la primera abarca el inicio y antes del punto

de equivalencia (APE) mientras la segunda comprende el punto de equivalencia (PE) y después del punto de equivalencia (DPE), siendo estas las etapas de la TVCM (Tabla 4)

Tabla 4. Variación de las cantidades molares de las especies en la valoración

	H_3AsO_4	+	$2Fe(CN)_6^{4-}$	$\rightleftharpoons$	H_3AsO_3	+	$2Fe(CN)_6^{3-}$
Inicio	$V_0 C_0$						
Agrega	$V_P C_P$						
APE	ε	$V_0 C_0 - 2V_P C_P$			$V_P C_P$	$2V_P C_P$	
PE	ε	ε			$V_P C_P = \frac{1}{2} V_0 C_0$	$2V_P C_P = V_0 C_0$	
DPE	$V_P C_P - \frac{1}{2} V_0 C_0$	ε			$\frac{1}{2} V_0 C_0$	$V_0 C_0$	

DAR LAS ECUACIONES QUE DEFINEN A LAS RECTAS

Tomando en cuenta que el volumen aumenta por cada adición del titulante, existe un efecto de dilución, siendo necesario realizar el cálculo de la absorbancia corregida para la curva de valoración. Recordando que, como se discutió en el método 1, es necesario implementar el factor de corrección para poder llevar a cabo la cuantificación de manera correcta; siendo que la absorbancia corregida debe obtenerse mediante la expresión:

$$A' = A_{exp} \left(\frac{V_0 + V_{agregado}}{V_0} \right)$$

NOTA: el volumen inicial (V_0) corresponde al volumen de la alícuota para la valoración, mientras que el volumen agregado ($V_{agregado}$) corresponde al volumen del titulante añadido en cada lectura.

Empleando la ecuación mencionada, se calcula la absorbancia corregida para cada sistema:

$$A'_{V=0 \text{ mL}} = 1.22 \left(\frac{10 \text{ mL} + 0 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} \right) = 1.22$$

$$A'_{V=1 \text{ mL}} = 1.0 \left(\frac{10 \text{ mL} + 1 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} \right) = 1.1$$

$$A'_{V=2 \text{ mL}} = 0.83 \left(\frac{10 \text{ mL} + 2 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} \right) = 0.996$$

$$A'_{V=3\text{ mL}} = 0.69 \left(\frac{10\text{ mL} + 3\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.897$$

$$A'_{V=4\text{ mL}} = 0.57 \left(\frac{10\text{ mL} + 4\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.798$$

$$A'_{V=5\text{ mL}} = 0.47 \left(\frac{10\text{ mL} + 5\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.705$$

$$A'_{V=6\text{ mL}} = 0.38 \left(\frac{10\text{ mL} + 6\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.608$$

$$A'_{V=7\text{ mL}} = 0.29 \left(\frac{10\text{ mL} + 7\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.493$$

$$A'_{V=8\text{ mL}} = 0.22 \left(\frac{10\text{ mL} + 8\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.396$$

$$A'_{V=9\text{ mL}} = 0.16 \left(\frac{10\text{ mL} + 9\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.304$$

$$A'_{V=10\text{ mL}} = 0.1 \left(\frac{10\text{ mL} + 10\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.2$$

$$A'_{V=11\text{ mL}} = 0.05 \left(\frac{10\text{ mL} + 11\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.105$$

$$A'_{V=12\text{ mL}} = 0.02 \left(\frac{10\text{ mL} + 12\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0.044$$

$$A'_{V=13\text{ mL}} = 0 \left(\frac{10\text{ mL} + 13\text{ mL}}{10\text{ mL}} \right) = 0$$

Con los valores de A' (tabla 5), se construye el gráfico de la curva de valoración (A' vs V_{agregado}).

Tabla 5. Datos para la construcción de la curva de valoración.

$V_{\text{AsO}_4^{-3}} \text{ (mL)}$	A'	$V_{\text{AsO}_4^{-3}} \text{ (mL)}$	A'
0	1.220	8	0.396
1	1.100	9	0.304
2	0.996	10	0.2
3	0.897	11	0.105
4	0.798	12	0.044
5	0.705	13	0
6	0.608	14	0
7	0.493	15	0

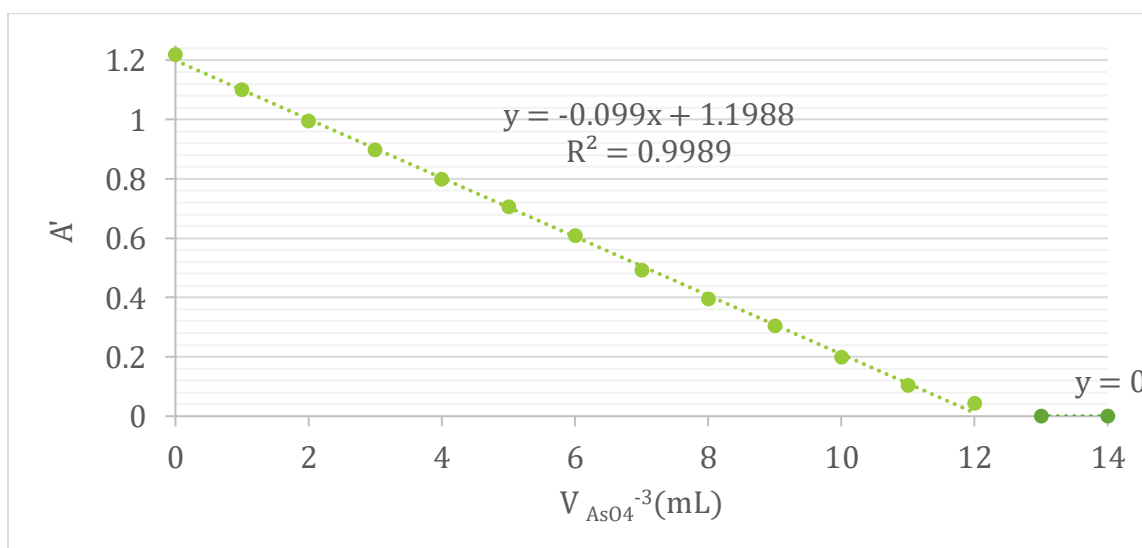


Figura 4. Curva de valoración para determinar la cantidad de arsénico.

De este gráfico se puede observar que existen dos rectas, la primera de ellas en el intervalo de volumen de 0 a 12 mL (recta verde claro) y la segunda de 13 a 14 mL (recta verde oscuro); mismas que al igualarse definen el volumen al punto de equivalencia:

- Antes del punto de equivalencia

$$A' = -0.099 \text{ mL AsO}_4 + 1.1988$$

- Después del punto de equivalencia

$$A' = 0$$

CALCULAR LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN EL AGUA DE POZO

Recordando que el primer paso para determinar la concentración del analito en una curva de valoración es determinar el volumen de punto de equivalencia, igualando las ecuaciones de las rectas que constituyen dicha curva:

$$-0.099x + 1.1988 = 0$$

Despejando y encontrando el valor de x:

$$x = \frac{-1.1988}{-0.099} = \mathbf{12.11 \text{ mL AsO}_4}$$

Se debe recordar que lo que se adiciona en la bureta es la solución acidulada problema, por lo que primero se calculan las milimoles (mmol) de ferrocianuro en la alícuota y con la relación estequiométrica de la reacción, se obtienen las milimoles de AsO_4^{3-} :

$$10 \text{ mL Fe(CN)}_6^{4-} \left(9.05 \times 10^{-6} \frac{\text{mmol}_{\text{Fe}}}{\text{mL}} \right) \left(\frac{1 \text{ mmol}_{\text{As}}}{2 \text{ mmol}_{\text{Fe}}} \right) = 4.52 \times 10^{-5} \text{ mmol AsO}_4$$

Estas mmol AsO_4^{3-} se encuentran en el volumen al punto de equivalencia (12.11mL), por lo que la concentración es:

$$\frac{4.52 \times 10^{-5} \text{ mmol}_{\text{As}}}{12.11 \text{ mL}} = \mathbf{3.74 \times 10^{-6} \text{ M AsO}_4 \text{ en agua acidulada}}$$

Considerando la dilución al acidular la muestra, se calcula la concentración de arsénico en el agua del pozo:

$$3.74 \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \left(\frac{5.1 \text{ L}}{5 \text{ L}} \right) = \mathbf{3.81 \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \text{ As en agua del pozo}}$$

$$3.81 \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \left(\frac{74.9 \text{ g As}}{\text{mol}_{\text{As}}} \right) \left(\frac{10^6 \mu\text{g}}{1 \text{ g}} \right) = \mathbf{285.4 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} \text{ As en agua del pozo}}$$

DEFINIR LA ECUACIÓN DE LAS RECTAS CON RELACIÓN A LA ESPECIE QUE DA LA PROPIEDAD

A partir de la gráfica se puede observar que conforme se aumenta el volumen de titulante la intensidad de la propiedad disminuye, esto indica que la especie que da la propiedad, en este caso absorbancia, es el ferrocianuro $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}]$. Es por ello, que solo se tiene señal antes del punto de equivalencia. Porque como se ve en la TVCM, esta especie solo está presente en solución al inicio y hasta antes de que se llegue al punto de equivalencia.

En función de las expresiones mostradas en la tabla de variación de cantidades molares, la ley de Lambert-Beer y la especie que da la propiedad, para la recta antes del punto de equivalencia se tiene:

$$A' = \epsilon l \left(\frac{V_0 C_0 - 2V_P C_P}{V_{cte}} \right)$$

Acomodando los términos:

$$A' = \epsilon l \left(\frac{V_0 C_0}{V_{cte}} \right) - 2\epsilon l \left(\frac{V_P C_P}{V_{cte}} \right) \equiv y = b - mx$$

Siendo esta la ecuación que define a la recta obtenida antes del punto de equivalencia durante la valoración, que es la zona en la que se tiene presente a la especie $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}]$.

La segunda recta es $y = 0$, debido a que después del punto de equivalencia ya no hay ferrocianuro en solución, porque reacciona completamente.

CALCULAR EL COEFICIENTE DE ABSORTIVIDAD MOLAR (ϵ) DE LA ESPECIE QUE DA LA PROPIEDAD. CONSIDERANDO QUE SE USÓ UNA CELDA CON LONGITUD DE PASO ÓPTICO DE 1CM.

Igualando el término de la ordenada al origen con el valor obtenido en el ajuste lineal (figura 4), es posible determinar el valor del coeficiente de absortividad molar para la especie $[\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}]$:

$$\epsilon l \left(\frac{V_0 C_0}{V_{cte}} \right) = b = 1.1988$$

Despejando:

$$\epsilon = \frac{b(V_{cte})}{l(V_0 C_0)}$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$\epsilon = \frac{1.1988(10 \text{ mL})}{(1 \text{ cm})[(10 \text{ mL}) (9.05 \times 10^{-6} \text{ M})]} = 132,464.1 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$$

COMPARACIÓN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR AMBOS MÉTODOS

En la curva de adición patrón indirecta con efecto de dilución, se determinó una concentración de arsénico de **270.4 µg/L** mientras que, con la curva de valoración, se determinó una concentración de **285.4 µg/L**. Dichos resultados obtenidos mediante ambos métodos empleados para la determinación de arsénico en una muestra de agua de pozo resultan ser cercanos.

Según la literatura, empleando métodos de curvas de valoración para cuantificar analitos se obtienen resultados más exactos por lo que el valor obtenido mediante esta metodología puede resultar ser la más real.

CONCLUYA SI EL AGUA DE POZO PUEDE SER INGERIDA, CON BASE EN LAS ESPECIFICACIONES MARCADAS POR LA NORMA NOM-127-SSA1-1994

La NOM en cuestión establece que la cantidad de arsénico no puede de ser mayor a **50µg/l** para poder ser ingerida por humanos o animales.

Dado que por ambos métodos se obtuvieron concentraciones muy por encima de los estipulado por la NOM, no es viable ingerir el agua del pozo en cuestión, por lo que se debe de cerrar el pozo para evitar una intoxicación por arsénico.

REFERENCIAS

Harris, D. (2016). *Análisis químico cuantitativo*. México: Editorial Reverté.

Secretaría de Salud (SSA). (2000). *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*. Ciudad de México: :SSA.

Skoog, D. (2014). *Fundamentos de Química Analítica*. México: Cengage Learning.