

ANÁLISIS DE CADMIO Y PLOMO EN AGUAS SUPERFICIALES POR POTENCIOMETRÍA DE STRIPPING

POTENCIOMETRIC STRIPPING ANALYSIS OF CADMIUM AND LEAD IN SUPERFICIAL WATERS

Juan Miguel Arias*, Clara Marciales Castiblanco*

Recibido: 16/09/03 – Aceptado: 12/12/03

RESUMEN

Se realizó la implementación y validación de una metodología analítica para determinar la presencia de cadmio y plomo en aguas superficiales como herramienta para la descripción del estado actual y el control cualitativo y cuantitativo de las descargas de estos metales peligrosos en los cuerpos de agua. Se realizaron ensayos para establecer condiciones de análisis de la potenciometría de *stripping* y, de acuerdo con los resultados, se escogieron las siguientes: concentración de oxidante en la muestra de $36,4 \mu\text{g/L}$ de Hg^{2+} , frecuencia de agitación de 2400 rpm, tiempo de electrólisis de 80 segundos, potencial de electrólisis de -950 mV y pH de 2,0.

Se estudió el efecto de la presencia de cobre y de hierro; se estableció que concentraciones de Cu^{2+} mayores a $150 \mu\text{g/L}$ y $500 \mu\text{g/L}$ afectan la respuesta instrumental en los análisis de cadmio y plomo respectivamente; concentraciones por encima de $60 \mu\text{g/L}$ y $400 \mu\text{g/L}$ de Fe^{3+} generan variación de la respuesta para el cadmio y el plomo respectivamente.

Se encontró que el intervalo lineal de concentración para el análisis de cadmio está comprendido entre 5 y $250 \mu\text{g/L}$ y para el plomo entre 10 y $250 \mu\text{g/L}$; la precisión, expresada como repetibilidad tanto del sistema como del método analítico indica una buena reproducibilidad en los análisis con coeficientes de variación menores al 6%; la exactitud, expresada por la recuperación, indica que está fuertemente influenciada por el nivel de concentración, por lo cual es recomendable utilizar el método de adición estándar para llevar a cabo la cuantificación de cadmio y plomo.

La determinación de las concentraciones de cadmio y de plomo se realizó en muestras de aguas superficiales de los ríos colombianos Magdalena y Cauca, y se encontró que están por debajo del límite de detección de esta técnica analítica.

Palabras clave: potenciometría de *stripping*, aguas superficiales, metales pesados.

ABSTRACT

This paper contains the implementation and validation of an analytical method

* Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
Correo electrónico: chemiguelarias@hotmail.com, cmarciaesc@unal.edu.co.

for determining cadmium and lead in surface waters. This is a valuable tool for the description of actual conditions and qualitative and quantitative control of dangerous heavy metals discharge in water bodies.

Test were run for selecting stripping potentiometry conditions that as indicated by results were: sample oxidant concentration $36.4 \mu\text{g/L}$ Hg^{2+} , stirring frequency 2400 rpm, electrolysis time 80 s., electrolysis potential - 950 mV and pH of 2.0.

Interference of Cu^{2+} and Fe^{2+} showed that copper concentrations larger than $150 \mu\text{g/L}$ and $500 \mu\text{g/L}$ negatively influence the analytical response for cadmium and lead respectively; $[\text{Fe}^{3+}]$ larger than $60 \mu\text{g/L}$ and $400 \mu\text{g/L}$ cause variations in cadmium and lead read content respectively.

Linear concentration range for cadmium lies between 5 and $250 \mu\text{g/L}$; for lead range goes from 10 to $250 \mu\text{g/L}$. Precision expressed as repeatability for both system and method, exhibit good reproducibility with variation coefficients below 6%. Accuracy, assessed from recuperation, is strongly influenced by concentration level therefore standard addition is recommended for lead and cadmium quantification.

Analysis performed on surface waters from Colombian Magdalena and Cauca rivers pointed lead and cadmium contents below detection limits.

Key words: Potentiometric stripping analysis, heavy metals, superficial waters

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son contaminantes no biodegradables; una vez ingresan en los cuerpos de agua su toxicidad depende de la forma química y la concentración en que se encuentren; el cadmio y el plomo se clasifican como muy tóxicos y relativamente accesibles, por lo que los efectos nocivos que causan en la salud humana, en la flora y en la fauna, evidencian la importancia de la evaluación y el control de estos contaminantes en el ambiente, en particular en cuerpos de agua.

Teniendo en cuenta que el Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales (Ideam) es una de las entidades gubernamentales responsable en Colombia de la vigilancia y el control de los recursos hídricos, se propuso llevar a cabo este estudio para implementar y validar el método de potenciometría de *stripping* para determinar los niveles de cadmio y plomo en aguas superficiales.

La potenciometría de *stripping* es una técnica analítica que permite evaluar concentraciones de cadmio y plomo en el orden de microgramos por litro. Esta metodología electroanalítica que fue utilizada por primera vez en el análisis de metales pesados por Jagner y Granéli en 1976 (1), consta de dos pasos fundamentales: en el primero ocurre la preconcentración o electrólisis, donde el analito es depositado, por reducción, sobre una película delgada de mercurio (previamente formada sobre un electrodo de carbono vitrificado) al aplicarse potenciales negativos por un período definido de tiempo; en el segundo, denominado paso de *stripping* o de redissolución, se presenta la reoxidación química espontánea del analito por la acción de agentes oxidantes, donde la va-

riación del potencial, entre el electrodo de trabajo y el de referencia, es registrada como función del tiempo ($E = (t)$). En la Tabla 1 se muestra la comparación entre esta metodología y la voltametría de *stripping* (2).

Tabla 1. Comparación entre las metodologías potenciométrica de *stripping* y voltametría de *stripping*

[1] Paso de electrólisis (preconcentración)



Electrodo: película delgada de mercurio sobre un sustrato de carbono vitrificado

[2] Paso de *stripping* o de redisolución

2.1 Potenciometría de *stripping*

$M(Hg)x + (n/2)Hg^{2+} \rightarrow M^{n+} + (x+n/2)Hg$
Se monitorea el potencial como función del tiempo

2.2 Voltametría de *stripping*



Se monitorea la corriente como función del potencial

METODOLOGÍA

Reactivos. Agua ultrapura grado 1 obtenida mediante un purificador Labconco WaterPro PS con resinas de intercambio iónico, ultrafiltro y lámpara UV; ácido nítrico (HNO_3) al 65% de alta pureza (suprapuro); ácido clorhídrico (HCl) al 36% de alta pureza (suprapuro); titrisoles Merck de $1,000 \pm 0,002$ g de cadmio y de plomo respectivamente; solución oxidante y de recubrimiento (800 mg/L de Hg^{2+}); estándar de cobre Unicam de $1,000 \pm 0,5\%$ mg/L; estándar de hierro Unicam de $1,000 \pm 0,5\%$ mg/L.

Equipos (3). Se utilizó un potenciómetro de *stripping* anódico y catódico Trace Lab- 20B68 el cual consta de: 1) unidad central PSU22 (unidad de redisolución potenciométrica) que contiene un potenciómetro de alta precisión y un generador de corriente que controla los electrodos y la agitación; es capaz de aplicar potenciales de electrólisis entre -4 V y +1,8 V; 2) tres electrodos: un electrodo de carbono vitrificado F3600 como electrodo de trabajo, un electrodo auxiliar de platino P136 y un electrodo de referencia de Calomel K436.

Recubrimiento del electrodo de trabajo. Este proceso fue realizado previo a cada análisis; se colocaron los electrodos en un vial de teflón con 20 mL de solución de recubrimiento de 800 mg/L de Hg^{2+} y se corrió el software TAP 2 para llevar a cabo el recubrimiento automáticamente.

RESULTADOS

Ensayos preliminares. Se realizaron ensayos tendientes a determinar el intervalo de respuesta lineal bajo las condiciones dadas por el manual del potenciómetro (3): volumen de muestra de 20,00 mL, adición de un volumen de 2,00 mL de solución oxidante para una concentración final en la muestra de 73,0 mg/L de Hg^{2+} , potencial de electrólisis de -900 mV, tiempo de electrólisis de 50 segundos y agitación de 1.500 rpm.

El intervalo de respuesta lineal encontrado para el análisis simultáneo de cadmio y de plomo estuvo entre 10,00 $\mu\text{g}/\text{L}$ y 200,0 $\mu\text{g}/\text{L}$ para cada elemento. El estimativo promedio de la pendiente de la recta de regresión lineal para el cadmio fue de $3,08 \pm 0,07$ ms L/ μg de Cd^{2+} ($P=0,05$) y

para el plomo fue de $2,09 \pm 0,06$ ms L/ μg de Pb²⁺ ($P=0,05$) (4).

Condiciones de análisis. El estudio de la respuesta del instrumento en función de las distintas variables fisicoquímicas, se realizó con tres réplicas, manteniendo una concentración constante de cadmio y de plomo de 100,0 $\mu\text{g/L}$ para cada elemento, correspondiente a una concentración cercana al centro de gravedad de la recta hallada en los ensayos preliminares (4, 5).

Frecuencia de agitación. En el Gráfico 1 se presenta la relación promedio de la respuesta del instrumento expresada en milisegundos (ms), en función de la frecuencia de agitación para el cadmio y el plomo.

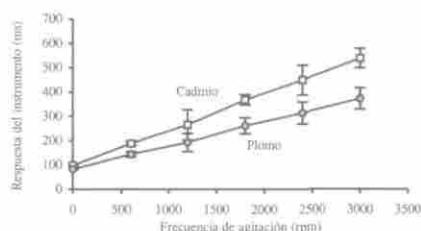


Gráfico 1. Relación promedio de la respuesta del instrumento expresada en milisegundos (ms), en función de la frecuencia de agitación para el cadmio y el plomo (100,0 $\mu\text{g/L}$ de cada elemento). Equipo: potenciómetro TraceLab 20B-68; condiciones de análisis: 1) concentración de oxidante de 72,9 mg/L de Hg²⁺; 2) potencial de electrólisis: -900 mV; 3) tiempo de electrólisis: 50 segundos.

El aumento de la frecuencia de agitación ocasiona disminución gradual en el espesor de la capa de difusión, hecho que minimiza problemas de precipitación de iones metálicos cuando éstos están presentes en concentraciones muy altas (2). Una agitación controlada hace que la capa

de difusión en la superficie del electrodo sea de espesor constante y asegura que el transporte de los iones desde el seno de la solución hasta el electrodo sea invariable, garantizando la reproducibilidad de los resultados analíticos. Se escogió una frecuencia de 2400 rpm, dado que no es recomendable trabajar bajo condiciones límites de operación, puesto que el tiempo de vida útil del motor de agitación podría verse afectado.

Tiempo de electrólisis. En el Gráfico 2 se observa la relación promedio de la respuesta del instrumento en función del tiempo de electrólisis.

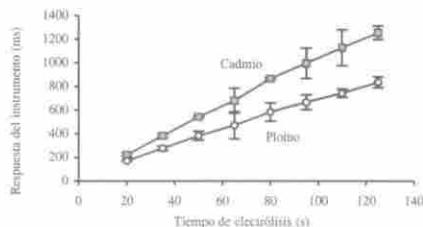


Gráfico 2. Relación promedio de la respuesta del instrumento en función del tiempo de electrólisis para el cadmio y el plomo (100,0 $\mu\text{g/L}$ de cada elemento). Equipo: potenciómetro TraceLab 20B-68; condiciones de análisis: 1) concentración de oxidante de 72,9 mg/L de Hg²⁺; 2) potencial de electrólisis: -900 mV; 3) frecuencia de agitación: 2.400 rpm.

Un tiempo de electrólisis prolongado favorece la formación de compuestos intermetálicos pero también puede ocasionar saturación del analito en la película de mercurio, provocando su precipitación sobre la superficie del electrodo, lo que puede originar problemas en el paso de reoxidación, haciendo que disminuya la señal de redissolución (2). Es muy importante establecer, por cuestiones económicas,

cas y de productividad del laboratorio, un equilibrio entre el tiempo requerido para un análisis y la máxima señal; se determinó entonces como tiempo de electrólisis 80 segundos.

Potencial de electrólisis. En el Gráfico 3 se muestra la relación promedio de la respuesta del instrumento expresada en milisegundos (ms), en función del potencial de electrólisis.

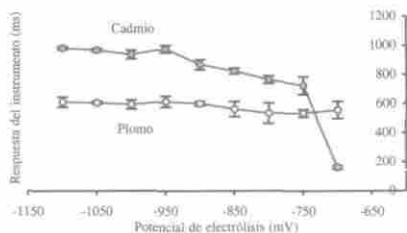


Gráfico 3. Relación promedio de la respuesta del instrumento expresada en milisegundos (ms), en función del potencial de electrólisis para el cadmio y el plomo (100,0 µg/L de cada elemento). Equipo: potenciómetro TraceLab 20B-68; condiciones de análisis: 1) concentración de oxidante de 72,9 mg/L de Hg²⁺; 2) frecuencia de agitación: 2.400 rpm; 3) tiempo de electrólisis: 80 segundos.

Estadísticamente se encontró que para el cadmio la variación en el potencial de electrólisis no afectó considerablemente la señal del instrumento en los potenciales -950 mV, -1.050 mV y -1.100 mV, potenciales donde se presentaron las máximas señales. Para el análisis de plomo se observó este mismo comportamiento en el intervalo de -900 mV a -1.100 mV.

No es recomendable trabajar a potenciales de electrólisis más negativos de -1.500 mV en medio neutro o de -1.200 mV en medio ácido porque se presenta reducción de iones hidronio a hidrógeno ($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g})}$) (3), reacción que

puede causar cambios en el área superficial de la película de mercurio al depositarse burbujas sobre ésta, generando señales poco definidas. Bajo estas circunstancias se escogió como potencial de electrólisis -950 mV.

Concentración de solución oxidante de Hg²⁺. El Gráfico 4 presenta la relación promedio de la respuesta del instrumento en función de la concentración de solución oxidante de Hg²⁺.

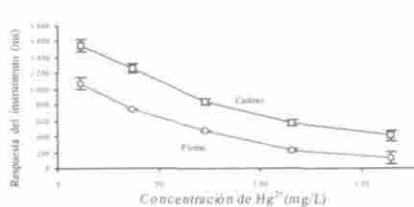


Gráfico 4. Relación promedio de la respuesta del instrumento en función de la concentración de solución oxidante de Hg²⁺ para el cadmio y el plomo (100,0 µg/L de cada elemento). Equipo: potenciómetro TraceLab 20B-68; condiciones de análisis: 1) frecuencia de agitación: 2.400 rpm; 2) tiempo de electrólisis: 80 segundos; 3) potencial de electrólisis: -950 mV.

La máxima señal se presentó a una concentración de Hg²⁺ de 10,93 mg/L, disminuyendo con el aumento en la concentración de oxidante; no se recomienda utilizar concentraciones por debajo de 20 mg/L de Hg²⁺ para asegurar que el oxidante encargado de reoxidar el analito sea el ión mercurio y no cualquier otra especie que pueda estar presente (3). Teniendo en cuenta lo anterior se escogió como concentración de oxidante 36,4 mg/L de Hg²⁺.

De acuerdo con los ensayos anteriores se establecieron como condiciones analí-

ticas las siguientes: concentración de oxidante en la muestra de 36,4 mg/L de Hg^{2+} , frecuencia de agitación de 2.400 rpm, potencial de electrólisis de -950 mV, tiempo de electrólisis de 80 segundos. Según la norma de preservación de muestras NTC-ISO 5667-3 (6), para el análisis de cadmio y plomo en aguas éstas deben ser ajustadas a un pH menor o igual a 2,0, por lo cual se escogió el pH de 2,0 como una de las condiciones de análisis de esta metodología.

Evaluación de parámetros de validación

Selectividad. El estudio se realizó introduciendo deliberadamente concentraciones conocidas de interferentes que pueden estar presentes en aguas superficiales y que pueden ocasionar variación en la respuesta instrumental (7,8).

Presencia de Cu^{2+} . Se encontró que concentraciones de Cu^{2+} por encima de 150,0 $\mu g/L$ ocasionan variación en la respuesta del instrumento en los análisis de cadmio; para el plomo esto ocurre en concentraciones por encima de 500 $\mu g/L$.

El valor normal de cobre reportado para aguas dulces es de 1,8 $\mu g/L$ y en la fase soluble de las aguas superficiales del río Magdalena, el más importante de Colombia, la concentración promedio de cobre encontrada ha sido del orden de 6,7 $\mu g/L$ (9), por lo cual se puede asumir que este elemento no sería una interferencia para el análisis de cadmio y plomo en aguas superficiales por potenciometría de *stripping*.

Presencia de Fe^{3+} . Concentraciones de Fe^{3+} por encima de 60,0 $\mu g/L$ ocasionan variación en la respuesta del instru-

mento en los análisis de cadmio; para el plomo esto ocurre en concentraciones por encima de 400 $\mu g/L$. Estas fluctuaciones en las señales pueden atribuirse a que el Fe^{3+} actúa como oxidante, compitiendo con el Hg^{2+} , haciendo que la razón de reoxidación del analito presente en la película de mercurio aumente por la presencia de una mayor cantidad de oxidantes (8).

La concentración normal de hierro en agua dulce es del orden de 30,0 $\mu g/L$ y en aguas del río Magdalena se han encontrado concentraciones alrededor de 103 $\mu g/L$, por lo que la presencia de Fe^{3+} puede afectar el análisis de cadmio en aguas con esta metodología.

Los resultados anteriores muestran la necesidad de realizar una evaluación previa de hierro y cobre en aguas en las que se quiera determinar el contenido de cadmio y plomo; en caso de que superen los niveles permitidos, es necesario retirarlos para asegurar la confiabilidad de los resultados cuantitativos por este método de potenciometría de *stripping* (7,8).

Intervalo de respuesta lineal, linealidad y sensibilidad. El intervalo de respuesta lineal fue evaluado por inspección visual, sumatoria de cuadrados de residuos, coeficientes de determinación y por el enfoque gráfico del factor de respuesta relativa (4,5,10). Esta evaluación permitió establecer que este intervalo está comprendido entre 10,00 y 250,0 $\mu g/L$ de plomo, y entre 5,00 y 250,0 $\mu g/L$ de cadmio.

La recta de regresión lineal ajustada por mínimos cuadrados para el análisis de cadmio fue:

$y = 10,97 \pm 0,06 \text{ msL}/\mu\text{g}$ (x) – $1 \pm 8 \text{ ms}$, con un coeficiente de correlación de 1,000 y un coeficiente de determinación de 1,000; para el análisis de plomo fue:

$y = 7,65 \pm 0,11 \text{ msL}/\mu\text{g}$ (x) + $32 \pm 17 \text{ ms}$, con un coeficiente de correlación de 0,9999 y un coeficiente de determinación de 0,9999.

Sensibilidad de calibración (11). Para el análisis de cadmio fue de $10,97 \pm 0,06 \text{ ms L}/\mu\text{g}$ ($P=0,05$), y para el análisis de plomo fue de $7,65 \pm 0,11 \text{ ms L}/\mu\text{g}$ ($P=0,05$) [5]. Estadísticamente se logró comprobar que el establecimiento de las condiciones analíticas en este estudio generó un incremento importante en la sensibilidad de calibración para ambos analitos.

Límites de detección y cuantificación. Se evaluaron utilizando la definición IUPAC [12]; el valor obtenido por este método para el análisis de cadmio fue de $0,57 \mu\text{g/L}$ y para el análisis de plomo de $2,07 \mu\text{g/L}$. El límite de cuantificación calculado fue de $1,90 \mu\text{g/L}$ para el análisis

de cadmio y de $6,90 \mu\text{g/L}$ para el plomo. Dado que es necesario que la cuantificación de cualquier analito se realice dentro del intervalo de respuesta lineal y que los límites de cuantificación evaluados, según IUPAC, están por debajo de este intervalo, este límite fue redefinido como la primera concentración del intervalo de respuesta lineal de cada analito; para el análisis de cadmio fue de $5,00 \mu\text{g/L}$ y para el análisis de plomo fue de $10,00 \mu\text{g/L}$.

Exactitud. Se evaluó como porcentaje de recuperación o porcentaje de error de muestras de aguas superficiales a las cuales se les adicionaron cantidades conocidas de estándares de cadmio y de plomo. Para esto se tomaron muestras integradas de aguas superficiales de la sección transversal de los ríos colombianos Magdalena, en las estaciones de muestreo Tocamochó y Calamar en el departamento de Bolívar, y Cauca en las estaciones Margento, departamento de Antioquia, y Las Varas, departamento de Bolívar. En la

Tabla 2. Porcentajes de recuperación estimados para el cadmio y el plomo en muestras de aguas superficiales de los ríos Magdalena y Cauca

Analito	Cadmio				Plomo			
	Río Magdalena		Río Cauca		Río Magdalena		Río Cauca	
Corriente de agua	Tocamochó	Calamar	Margento	Las Varas	Tocamochó	Calamar	Margento	Las Varas
Estación de muestreo	Porcentaje de recuperación (%)**							
Concentración inicial de analito ($\mu\text{g/L}$)*	77,3	77,4	84,1	90,2	107	103	124	121
$50,0 \pm 0,3$	77,9	70,5	77,8	91,7	112,7	105,9	118,3	127,5
$100,0 \pm 0,5$	80,3	69,4	77,7	94,6	114,9	107,8	119,6	129,9
$150,0 \pm 0,7$	78,6	68,9	76,5	89,6	116,4	107,7	119,9	127,1
$200,0 \pm 0,8$	79	67,6	76,7	91,2	118,8	107	115,5	128,2
$250,0 \pm 1,0$	79	71	79	91	114	106	119	127
Promedio (%)	79	71	79	91	114	106	119	127
CV (%)	1,5	5,4	4	2,1	3,9	1,8	2,5	2,6

*La incertidumbre reportada es una incertidumbre expandida calculada usando un factor de cobertura de dos, el cual da un nivel de confianza del 95% aproximadamente (13).

** Porcentaje de recuperación promedio de seis determinaciones

Tabla 2 se presentan los porcentajes de recuperación estimados para el cadmio y el plomo en las muestras de aguas superficiales de estos dos ríos.

Estadísticamente se encontró que los porcentajes de recuperación estimados a distintas concentraciones, pueden variar unos de otros (4), por lo cual la determinación de un porcentaje de recuperación, a una concentración dada, no puede ser generalizado ni extrapolado a otras concentraciones.

Precisión del sistema (14,15). Se evaluó como precisión intralaboratorio o repetibilidad del sistema analítico y como repetibilidad entre días. En la Tabla 3 se muestran los valores del coeficiente de variación.

Horwitz (15) desarrolló una ecuación empírica que relaciona el coeficiente de variación de un método con la concentración de analito en la muestra, en ensayos de reproducibilidad, recopilando resultados de unos 150 ensayos interlaboratorios de la AOAC, con por lo menos cinco me-

todologías distintas. La relación hallada fue: $CV = 2^{(1-0,5\log C)}$, donde C es la concentración de analito expresada en potencias de 10; para la variabilidad intralaboratorio el coeficiente de variación es de $\frac{1}{2}$ a $\frac{2}{3}$ del coeficiente evaluado por la fórmula. Esta relación empírica permitió establecer como criterio de variabilidad intralaboratorio un coeficiente de variación del 11,3% para una concentración de 100 $\mu\text{g/L}$. Tanto la repetibilidad instrumental como la repetibilidad entre días del sistema analítico, para ambos analitos, se encontraron por debajo de este valor, lo que indica una buena precisión estimada como repetibilidad del sistema analítico.

Precisión del método (14,15). Se evaluó como repetibilidad instrumental y como la repetibilidad entre días. En la Tabla 4 se muestran los valores del coeficiente de variación para el análisis de cadmio, y en la Tabla 5 para el análisis de plomo.

Tanto la repetibilidad instrumental como la repetibilidad entre días del método analítico, para ambos analitos, se encuentran por debajo del 11,3%, lo que

Tabla 3. Precisión del sistema analítico evaluada como repetibilidad instrumental y repetibilidad entre días

Concentración de analito ($\mu\text{g/L}$)*	Evaluación de la repetibilidad en el análisis cadmio		Evaluación de repetibilidad en el análisis plomo	
	10 mediciones de un mismo estándar	Mediciones de estándares en 17 días diferentes	10 mediciones de un mismo estándar	Mediciones de estándares en 17 días diferentes
	Coeficiente de varación (%)		Coeficiente de varación (%)	
0	48,0	83,4	32,9	30,1
50,0 \pm 0,3	4,9	3,0	5,2	2,9
100,0 \pm 0,5	0,9	2,1	1,2	2,0
150,0 \pm 0,7	0,9	1,8	1,3	0,9
200,0 \pm 0,8	1,3	2,4	1,0	2,5
250,0 \pm 1,0	1,0	3,6	0,9	2,7

*La incertidumbre reportada es una incertidumbre expandida calculada usando un factor de cobertura de dos, el cual da un nivel de confianza del 95% aproximadamente (13).

Tabla 4. Repetibilidad del método analítico para el análisis de cadmio evaluada como repetibilidad instrumental y repetibilidad entre días.

Corriente de agua	Río Magdalena		Río Cauca		Río Magdalena		Río Cauca	
Estación de muestreo	Tocamochó		Calamar		Margento		Las Varas	
Concentración inicial de cadmio ($\mu\text{g/L}$)*	Repetibilidad instrumental (4 lecturas) CV (%)	Repetibilidad entre días (6 días) CV (%)	Repetibilidad instrumental (4 lecturas) CV (%)	Repetibilidad entre días (6 días) CV (%)	Repetibilidad instrumental (4 lecturas) CV (%)	Repetibilidad entre días (6 días) CV (%)	Repetibilidad instrumental (4 lecturas) CV (%)	Repetibilidad entre días (6 días) CV (%)
0	17,9	17,1	60,0	114,3	54,7	59,6	16,4	25,4
$50,0 \pm 0,3$	0,8	2,3	0,2	1,6	3,5	2,5	1,2	1,1
$100,0 \pm 0,5$	1,5	0,7	2,6	1,2	4,4	3,1	2,3	0,9
$150,0 \pm 0,7$	1,4	1,2	1,0	0,9	1,0	1,5	0,9	0,6
$200,0 \pm 0,8$	1,5	0,8	1,2	1,5	2,5	0,7	0,7	0,6
$250,0 \pm 1,0$	2,0	2,9	3,0	0,6	0,8	1,1	2,6	1,1

* La incertidumbre reportada es una incertidumbre expandida calculada usando un factor de cobertura de dos, el cual da un nivel de confianza del 95% aproximadamente (13).

Tabla 5. Precisión del método analítico para el análisis de plomo evaluada como repetibilidad instrumental y repetibilidad entre días.

Corriente de agua	Río Magdalena		Río Cauca		Río Magdalena		Río Cauca	
Estación de muestreo	Tocamochó		Calamar		Margento		Las Varas	
Concentración inicial de plomo ($\mu\text{g/L}$)*	Repetibilidad instrumental (4 lecturas) CV (%)	Repetibilidad entre días (6 días) CV (%)	Repetibilidad instrumental (4 lecturas) CV (%)	Repetibilidad entre días (6 días) CV (%)	Repetibilidad instrumental (4 lecturas) CV (%)	Repetibilidad entre días (6 días) CV (%)	Repetibilidad instrumental (4 lecturas) CV (%)	Repetibilidad entre días (6 días) CV (%)
0	3,0	4,2	5,6	4,4	15,1	19,7	10,7	4,2
$50,0 \pm 0,3$	0,4	9,7	0,6	0,5	1,3	1,3	1,0	1,1
$100,0 \pm 0,5$	1,5	0,6	1,2	0,6	1,2	0,9	2,9	0,5
$150,0 \pm 0,7$	1,1	1,2	1,2	1,4	0,7	1,9	1,6	1,6
$200,0 \pm 0,8$	1,2	1,0	1,3	1,8	1,6	0,9	1,0	1,5
$250,0 \pm 1,0$	1,7	1,4	0,4	1,5	1,5	2,0	0,6	0,7

* La incertidumbre reportada es una incertidumbre expandida calculada usando un factor de cobertura de dos, el cual da un nivel de confianza del 95% aproximadamente (13).

muestra una buena precisión evaluada como repetibilidad del método analítico.

ANÁLISIS DE MUESTRAS

Muestreo y preservación de muestras de aguas superficiales

El Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales (Ideam) suministró 11 muestras en 11 puntos de muestreo, recolectando muestra y duplicado. La meto-

dología de muestreo fue: se tomaron muestras integradas sobre la sección transversal del río a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de esta sección. Se realizaron mediciones *in situ* de pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto; las muestras se pasaron por un filtro de membrana de nitrato de celulosa de $0,45 \mu\text{m}$ de diámetro de poro; el filtrado fue acidulado con ácido nítrico al 65%, de alta pureza hasta obtener un pH menor o igual a dos. Las muestras se almacenaron a 4°C para su posterior análisis (6).

Evaluación de cadmio y de plomo en muestras de aguas superficiales. Las distintas muestras se analizaron en secuencia aleatoria, determinada por una tabla de números aleatorios (5), con el propósito de asegurar que cada muestra en estudio tuviera la misma probabilidad e independencia de ser analizada en cualquier orden y momento.

No se detectaron concentraciones de cadmio y de plomo; esto muestra que las concentraciones de estas dos especies se encontraron por debajo de los límites permisibles por las normas de Colombia ($10 \mu\text{g/L}$ de Cd^{2+} y $50 \mu\text{g/L}$ de Pb^{2+} según el Decreto 1594 del 26 de junio de 1984) (16).

Para comparar estos resultados se aplicó el método de adición de patrón; esto se hizo porque esta metodología considera implícitamente el efecto de la matriz sobre la determinación cuantitativa de un analito, lo que lo hace apropiado para el análisis cuantitativo de cadmio y de plomo en matrices complejas y variables, como las de aguas superficiales (4). Las concentraciones de cadmio y plomo se evaluaron en muestras del río Magdalena tomadas en las estaciones de Tocamochó y Calamar y en las estaciones de Margento y Las Varas del río Cauca. Se detectó la presencia de cadmio en la estaciones de Calamar y de Margento; en esta última estación se detectó también la presencia de plomo, pero en ningún caso las concentraciones fueron cuantificables, hecho que reafirmó que las concentraciones de estos dos metales se encontraron por debajo de los límites permisibles por la ley colombiana.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, y teniendo en cuenta que la legislación colombiana (Decreto 1594 del 26 de junio de 1984) (16) establece como concentraciones límites permisibles de cadmio entre $10 \mu\text{g/L}$ y $100 \mu\text{g/L}$ y de plomo entre $50 \mu\text{g/L}$ y $500 \mu\text{g/L}$ (dependiendo del uso del recurso hídrico), la metodología implementada es una importante herramienta analítica que permite evaluar y monitorear los niveles de cadmio y plomo en cuerpos de agua; además se establece como una opción viable en el análisis ambiental, como un método alterno a otras metodologías de mayor difusión como la absorción atómica y la voltametría. Sin embargo, es necesario evaluar previamente los niveles de hierro y cobre y utilizar el método de adición de estándar para tener resultados cuantitativos confiables y seguros.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) por permitir el desarrollo de este trabajo.

A Merck Colombia por su colaboración con algunos reactivos para la realización de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jagner, D., (1982). Potentiometric stripping analysis. *The Analyst*. **107**:593-599.
2. Humssam, A; Coetzee, J. F. (1985). Potentiometric stripping analysis: theory, experimental verification,

- and generation of stripping polarograms. *Anal. Chem.* **57** (3):581-585.
3. Radiometer Copenhagen (1997). TraceLab; trace element laboratory: instrumentation manual. Francia: pp. 1.1-5.5.
 4. Miller, J. C.; Miller, J. N. (1988). Estadística para química analítica. Addison-Wesley Iberoamericana. Londres, 2 ed. 210p.
 5. Harnett, D.; Murphy, J., (1987). Introducción al análisis estadístico. Massachussets: Addison-Wesley Iberoamericana.
 6. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1995). Gestión ambiental, calidad del agua, muestreo, directrices para la conservación y manejo de muestras. Bogotá (NTC-ISO 5667-3).
 7. Dalangin, R.; Gunasingham, H. (1994). Anodic stripping voltammetry of lead, cadmium and zinc in the presence of copper with an ion-exchange column. *The Analyst*. **119**: 2187-2191.
 8. American Society for Testing and Materials (1986). Annual book of ASTM standards: water and environmental technology. s.l.: Staff., v. 11.01:375-391, 539-555.
 9. Ruiz, J. E. y otros. Contaminación por metales traza. Su relación con parámetros hidrológicos y su incidencia en la salud humana. Bogotá: Ingeominas, (s.f.):1- 220.
 10. Green, J. M. (1996). A practical guide to analytical method validation. *Analytical Chemistry News & Features*, pp. 305A-309A.
 11. Quattrocchi, O.; Abelaíra, S. y Laba, R. (1992). Introducción a la HPLC: aplicación y práctica. Buenos Aires: Artes Gráficas Farro, pp. 301-327.
 12. Long, G.; Winefordner, J. D. (1983). Limit of detection : A closer look at the IUPAC definition. *Anal. Chem.* **55**, (No 7):712A - 724A.
 13. Eurachem (1998). Quantifying uncertainty in analytical measurement [en línea]. 1a versión en internet en diciembre de 1998, 1a edición en inglés 1.0-1998. "Sine loco": Eurachem, 1998. Disponible en: URL: <http://www.eurachem.bam.de/index.htm>
 14. Eurachem (1998). The Fitness for purpose of analytical methods : a laboratory guide to methods validation and related topics [en línea]. 1a versión en internet en diciembre de 1998, 1a edición en inglés 1.0-1998. "Sine loco": Eurachem, 1998. Disponible en: URL: <http://www.eurachem.bam.de/index.htm>
 15. Horwitz, W. (1982). Evaluation of analytical methods used for regulation of foods and drugs. *Anal. Chem.* **54** (1): 67A-76A.
 16. Colombia, Ministerio de Agricultura (1984). Decreto No. 1594 del 26 de junio de 1984, Bogotá.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La *Revista Colombiana de Química* publica contribuciones provenientes de la investigación en las diversas áreas de la química. El contenido de los artículos debe ser original, inédito y no debe haber sido enviado, total o parcialmente, para publicación a otra revista. La redacción asume el derecho de reproducción de los trabajos aceptados. Su publicación en otro medio requiere permiso del editor.

Solamente se publicarán contribuciones consideradas como resultados de trabajos de investigación, no se incluirán revisiones bibliográficas, ni notas breves.

FORMA Y ORGANIZACIÓN DEL ARTÍCULO

Los trabajos para publicación deben incluir:

- **Título.** Debe ir en mayúsculas, no debe contener fórmulas ni abreviaturas. Debe ser breve y consistente con el trabajo.
- **Nombre de los autores.** Se debe indicar con un asterisco la persona a la que puede dirigirse la correspondencia.
- **Nombre de la institución y dirección.**
- **Resumen en español y “Abstract” en inglés.** Alrededor de 200 palabras cada uno. Debe mostrar los principales resultados y conclusiones haciendo énfasis en los logros alcanzados. Debe ser fácilmente entendible sin tener que recurrir al texto completo o a alguna de las referencias.
- **Palabras clave,** los autores deben presentar de tres a diez palabras clave “key words” o frases que identifiquen los principales aspectos del artículo.
- **Introducción.** Debe describir el planteamiento general del tema, dando la información necesaria en forma concisa y precisa haciendo referencia solamente a la bibliografía directamente relacionada, considerada indispensable para el desarrollo del tema y que permita conocer el estado actual del mismo. No se deben incluir revisiones amplias de la bibliografía.
- **Materiales y métodos.** Si existen secciones diferenciadas, deben indicarse mediante encabezados pertinentes (p. e. muestreo, preparación de la muestra, etc.). La descripción de la experimentación debe hacerse con los detalles suficientes para que otros investigadores puedan repetirla. Las fuentes y estado de pureza de los materiales y reactivos químicos y la descripción de equipos sólo se debe incluir cuando éstos sean específicos o novedosos. La descripción de procedimientos aplicados con anterioridad por otros autores deben evitarse, a menos que hayan sido modificados, en cuyo caso deben incluirse los detalles de la modificación.

- **Resultados y discusión.** Los resultados y discusión deben presentarse de forma precisa incluyendo, si da a lugar, tablas y figuras. No se debe presentar la información en ambas formas. La discusión debe ser breve y enfocada a la interpretación de los resultados experimentales. Se debe evitar repetir la información que ya haya sido mencionada en el texto en forma de conclusiones.
- **Bibliografía.** La exactitud de las referencias bibliográficas es responsabilidad de los autores. Sólo deben citarse aquellas referencias que figuren en la sección de bibliografía. La forma en que se deben dar las referencias se indica más adelante.

REQUISITOS DE LOS MANUSCRITOS

- **Idioma.** Los trabajos pueden enviarse en español o en inglés.
- **Texto.** Los manuscritos deben remitirse por triplicado (original y dos copias), escritos a doble espacio, márgenes adecuadas (3 cm) y tamaño de letra 12. Una copia en disquete 3½, programa Microsoft Word y gráficas en Excel o Harvard Graphics, debe enviarse con la versión final del artículo una vez se ha aceptado para publicación. La copia electrónica debe coincidir perfectamente con la última versión enviada en papel. Los editores se reservan el derecho de hacer una corrección de estilo con el propósito de mantener la uniformidad en los textos de la Revista.
- **Nomenclatura, abreviaturas y unidades.** Deben emplearse nomenclaturas y símbolos aceptados internacionalmente y reconocidos por la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). Se deben indicar entre paréntesis el significado de las expresiones abreviadas, acrónimos o nombres registrados cuando aparezcan por primera vez en el texto. Deben emplearse las unidades de medida del SI (Système International d'Unités). Cuando se facilitan datos analíticos debe indicarse el número de repeticiones así como la desviación típica de los resultados u otra magnitud que indique la reproducibilidad de los mismos. Escribir las fórmulas de forma clara, prestando una especial atención a la colocación de los sub y superíndices. Las letras griegas o poco comunes deben identificarse la primera vez que aparezcan.
- **Caracterización de compuestos.** Los datos físicos y espectroscópicos para compuestos **nuevos** deben presentarse en el siguiente orden: nombre del compuesto y el número asignado en el texto; estado físico del compuesto (cristal, líquido, etc.), constantes físicas: punto de fusión/punto de ebullición; rotación óptica y medidas de dicroismo circular si es ópticamente activo; UV; IR; ¹H-RMN; ¹³C-RMN; EM.

Los datos de rotación óptica, dispersión óptica rotatoria (DOR) y dicroismo circular (DC) deben presentarse en la forma convencional, por ejemplo: $[\lambda]_{D \text{ temp}}$. Valor (+ or -) en $^{\circ}$ (solvente usado; $c\{\text{peso del compuesto en 100 ml de solvente}\}$) Ejemplo: $[\alpha]_{D 23} + 32^{\circ}$ (EtOH; $c 0.3210$). Las curvas de DOR se presentan

como una serie de valores de $[\lambda]$ o de $[\theta]$ (rotación molecular) a diferentes longitudes de onda. Valores de DC deben presentarse como valores de elipticidad molecular $[\theta]$, e.g., $[\theta]_{256} + 21\ 780$, $[\theta]_{307} - 16\ 113$ o como absorción diferencial dicroica, e.g. $\Delta\varepsilon_{253} - 1.0$ (MeOH; $c\ 0.164$). Espectro ultravioleta-visible: los valores de ε deben presentarse como valores logarítmicos en paréntesis, ejemplo: $\lambda_{\max}\ EtOH\ nm\ (\log\varepsilon)$: 203 (4.7), etc. Espectro Infrarrojo: (a) Los datos deben presentarse en la forma convencional, ejemplo: $\lambda\ \text{max}\ CHCl_3\ cm^{-1}$: 1740, etc. La absorción se debe presentar en número de onda y la asignación estructural se debe indicar entre paréntesis después del valor del número de onda, por ejemplo: 1740 ($>\text{C}=\text{O}$), etc. (b) para indicar la intensidad de la absorción de las bandas (si ésta es incluida) se deben utilizar las siguientes convenciones: d- intensidad débil, m- intensidad media, v-intensidad variable, mf- intensidad muy fuerte.

Los datos de RMN se presentarán completos sólo si éstos no han sido publicados anteriormente en tal caso sólo las referencias más relevantes deben mostrarse. Los datos deben presentarse como ^1H -RMN o ^{13}C -RMN indicando la frecuencia del instrumento, el solvente utilizado y el estándar interno. Los desplazamientos químicos deben expresarse en unidades δ relativas al TMS indicando si la señal es un singlet *s*, doblete *d*, doblete de dobletes *dd*, triplete *t*, multiplete *m*, etc. Los desplazamientos de ^{13}C -RMN deben darse con una cifra decimal y se debe especificar el átomo de carbono involucrado, utilizando la numeración recomendada por la IUPAC (C-1, C-2). Los desplazamientos de ^1H -RMN deben indicar el número de hidrógenos involucrados y su posición basada en la numeración de los átomos de carbono, preferiblemente de acuerdo a las normas IUPAC. Por ejemplo- Espectro ^{13}C -RMN (25.15 MHz, CDCl₃): δ 30.1 (*t*, C-5), 74.1 (*d*, C-6), 121.7 (*d*, C-3), 144.2 (*s*, C-4), etc. Espectro ^1H -RMN (100 MHz, CDCl₃): δ 0.68 (3H, *s*, H-18), 0.88 (6H, *d*, *J* = 6 Hz, H-26 and H-27), 0.90 (3H, *d*, *J* = 5 Hz, H-21), 4.34 (1H, *q*, *J*_{6α}, 7 $α$ = 4.5 Hz, *J*_{6α}, 7 $β$ = 2Hz, H-6), 4.21 (1H, *m*, *WJ/2* = 18Hz, H-3 $α$).

Los datos de espectrometría de masas se presentarán completos sólo si éstos no han sido publicados anteriormente, en este caso sólo se presentarán las referencias más relevantes. La presentación de los datos de espectrometría de masas debe seguir las recomendaciones dadas en *Int. J. Mass Spectrom. Ion Processes*, 142, 211-240 (1995) y deben indicar el método utilizado (EM (IE), EM (IQ), CG-EM, etc.) y la energía de ionización. Sólo se presentarán los iones diagnóstico importantes, el carácter de los iones fragmento con relación al ion molecular y la intensidad relativa al ion de mayor intensidad. Por ejemplo: EM (IE) 70 eV, *m/z* (int. rel.): 386 [M]⁺ (36), 368 [M-H₂O]⁺ (100), 353 [M-H₂O-Me]⁺ (23), 275 [M-111]⁺ (35), etc. EM (IQ) gas reactivo: *iso*-butano, 200eV, *m/z* (int. rel.): 387 [M + H]⁺ (100), 369 [(M + H)-H₂O]⁺ (23), etc. Los datos de los espectros de masas de alta resolución para [M]⁺ y para los iones fragmento más importantes pueden incluirse con más detalle si es necesario.

Cromatografía en capa fina: a) Para CCF analítica las dimensiones de las placas pueden omitirse si el espesor de la placa es 0.25 mm. b) Escriba en forma abreviada los adsorbentes comunes: Al_2O_3 (para aluminia), pero use sílica gel y no SiO_2 . c) En el caso de CCF preparativa se deben incluir detalles como: espesor de la capa, cantidad de muestra aplicada, el método de detección utilizado para localizar las bandas y el solvente utilizado para recuperar los compuestos. d) Formas especiales de CCF en adsorbentes impregnados pueden presentarse como por ejemplo AgNO_3 -sílica gel (1:9) en peso.

Cromatografía de gases: se debe especificar a) el detector utilizado: FID, CE, etc. b) El gas de transporte y su velocidad (flujo o velocidad lineal): N_2 a 30 ml min^{-1} . c) Las condiciones de operación tales como temperaturas de inyección y detección. d) Dimensiones de la columna y características de la fase estacionaria. Para columnas empacadas, por ejemplo, 6 m × 3 mm (diámetro interno) empacada con SE-30 1% (las características del material de soporte pueden omitirse). Para columnas capilares debe especificarse la clase de columna, por ejemplo: WCOT (wall coated open tubular), SCOT (support coated open tubular), sus dimensiones y las características de la fase estacionaria, por ejemplo: columna WCOT en sílica fundida, OV-1 (30m × 0.25 mm d.i., df 0.32 μm). La división (split ratio) en el puerto de inyección y el volumen de inyección también deben incluirse.

Cromatografía líquida de alta eficiencia: debe incluirse a) El solvente o gradiente de solventes con el flujo utilizado. b) Dimensiones de la columna (longitud y diámetro interno) y fase estacionaria. c) Método de detección empleado: UV, índice de refracción, etc.

Convenciones bioquímicas: Exceptuando los términos comunes (ATP, NADH, etc.) las abreviaturas deben escribirse en forma completa entre paréntesis inmediatamente después de su uso por primera vez en el texto. Generalmente el nombre de las enzimas no debe abreviarse, exceptuando las abreviaturas comunes como ATPasa. En lo posible para las enzimas utilice los números E. C y las recomendaciones del Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology (IUBMB) www.chem.qmw.ac.uk/iubmb, en "Enzyme Nomenclature, Recommendations", Academic Press, 1992. En el caso de caracterización de enzimas incluya la siguiente información: Actividad, pH óptimo, parámetros cinéticos, energía de activación y energía de activación para desnaturalización.

- **Figuras.** Cada figura se presenta en una hoja aparte. Se numeran consecutivamente con números arábigos. La numeración debe indicarse en el texto y en la parte posterior de la figura. El tamaño de los números debe ser tal, que después de su reducción, su altura sea de 2 mm. Las fotos deben enviarse sueltas y satinadas. En las gráficas, se deben dibujar las curvas con un trazo más grueso que los ejes. Escribir los nombres de los ejes en forma clara y tan cerca como sea posible. Emplear diferentes figuras geométricas (círculos, triángulos, etc.) y explicar su

significado dentro de la gráfica o en el pie de la misma. Los espectros y figuras similares deben ser nítidos y de un tamaño tal, que al reducirse a la mitad o más, sean comprensibles y definidos, ya que se reproducirán del original.

- **Tablas.** Las tablas deben numerarse con números arábigos e ir encabezadas por un título breve e informativo.
- **Bibliografía.** Las citas a la literatura deben indicarse en números arábigos encerrados entre paréntesis y enumerarse consecutivamente según el orden de aparición dentro del texto. Las referencias bibliográficas deben seguir el formato presentado en los siguiente ejemplos:

Ejemplo de referencias bibliográficas:

- ❖ Ejemplo 1. Artículo publicado en una revista:
Corma, A.; Martínez Triguero J. (1997). The Use of MCM-22 as a Cracking Zeolitic Additive for FCC. *J. Catal.* **165** (1) 102.
- ❖ Ejemplo 2. Libro:
Smith, A.B. (1972). *Textbook of Chemistry*. American Chemical Society: Washington, D.C., p. 75.
- ❖ Ejemplo 3. Capítulo de libro:
Ferst A. (1997). The Three-Dimensional Structure of Proteins. En: *Structure and Mechanism in Protein Science*. New York: W.H. Freeman and Company. pp. 1-50.
- ❖ Ejemplo 4. Tesis:
Meyer, B. N. *Brine Shrimp Toxicity; Certain Components of *Stapelia*, *Coryphanta*, *Lupinus*, and *Quinoa**. Ph. D. Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN, 1983, p. 35.
- ❖ Ejemplo 5. Patente:
Davis, R. U.S. Patent 5,708,591, 1998.

COSTO DE LA PUBLICACIÓN

La publicación de un artículo, con una extensión no mayor a 3 páginas impresas de la revista, tendrá un costo en pesos colombianos, equivalente a 15 dólares. Las páginas adicionales tendrán un costo equivalente a 10 dólares cada una. El autor recibirá 10 copias (reprints) del artículo impreso.

**MODIFICACIÓN DEL ESQUELETO PEPTÍDICO DE FRAGMENTOS
DE LA PROTEÍNA MSP-1 DEL *Plasmodium falciparum*: SÍNTESIS EN
FASE SÓLIDA DE PSEUDOPÉPTIDOS AMIDA REDUCIDA**

**BACKBONE MODIFICATION OF *Plasmodium falciparum*'s MSP-1
PEPTIDE FRAGMENTS: SOLID PHASE SYNTHESIS OF REDUCED AMIDE
PSEUDOPEPTIDES**

*José Manuel Lozano, Luz Mary Salazar, Carlos Parra, Nubia Barrera, Fanny Guzmán,
José Libardo Torres-Castellanos y Manuel Elkin Patarroyo*

5

**COMPLETA ASIGNACIÓN DE LOS ESPECTROS DE ^1H Y ^{13}C RMN DE DOS
GUAYANOLIDAS CONOCIDAS AISLADAS DE *Centaurea musimonum***

**COMPLETE ASSIGNMENT OF THE ^{13}C AND ^1H NMR SPECTRA OF TWO
KNOWN GUAIANOLIDES ISOLATED FROM *Centaurea musimonum***

K. Medjroubi, F. Benayache, F. León, J. Bermejo

17

**CONSTITUYENTES NO POLARES DE LA CORTEZA DE *Esenbeckia alata*
Y ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA**

**CHEMICAL CONSTITUENTS OF NON-POLAR *Esenbeckia alata* BARK AND
ANTIMICROBIAL ACTIVITY**

Olimpo García Beltrán, Luis Enrique Cuca Suárez

23

**DISTRIBUCIÓN DE FRACCIONES DE TAMAÑOS MOLECULARES DE
ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS EXTRAÍDOS DE ANDISOLES DE COLOMBIA**

**MOLECULAR SIZE DISTRIBUTIONS OF HUMIC AND FULVIC ACIDS
EXTRACTED FROM COLOMBIAN ANDISOLES**

Armando Herrera, Adela Correa y Amanda Lozano de Yunda

29

**DETERMINACIÓN DE LA ENTALPIA DE INMERSIÓN DE CARBÓN ACTIVADO
EN SOLUCIONES ACUOSAS DE FENOL Y SU RELACIÓN CON LA
CAPACIDAD DE ADSORCIÓN**

**DETERMINATION OF THE IMMERSION ENTHALPY OF ACTIVATED CARBON
IN AQUEOUS SOLUTIONS OF PHENOL AND ITS RELATION
WITH THE ADSORPTION CAPACITY**

Liliana Giraldo G., Juan Carlos Moreno P.

45

**PREPARACIÓN DE PELÍCULAS PARA ALIMENTOS A PARTIR DE
CONCENTRADOS PROTEICOS DE HABA (*Vicia faba*)**

**FILMS PREPARATION FOR FOOD PACKAGING OBTAINED
FROM FABA BEAN (*Vicia faba*) PROTEIN CONCENTRATE**

Ana Patricia Rozo, Ana Silvia Bermúdez

55