

Eliminación de cromo y cadmio mediante *Scenedesmus obliquus* en estado inmovilizado

Alexis Pellón, Julio Frades,* Anaelsis Chacón, Elsa Pérez, Antonio Oña, María del Carmen Espinosa, Caridad Ramos Alvarino, Rogelio Mayarí y Rigoberto Escobedo.

Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental, Centro Nacional de Investigaciones Científicas. Avenida 25 y 158, Playa, Apartado Postal 6414, Ciudad de La Habana. *Centro de Investigaciones Metalúrgicas, Ministerio de la Industria Sidero-mecánica. Avenida 51 y 240, San Agustín, La Lisa, Ciudad de La Habana, Cuba.

Recibido: 30 de septiembre de 2004. Aceptado: 18 de julio de 2005.

Palabras clave: galvanicas, tratamiento de aguas residuales, recuperación de cromo y cadmio, microalgas.
Key words: plating, wastewater treatment, chromium and cadmium ions recovery, microalgae.

RESUMEN. El vertido de aguas residuales con gran contenido de cromo y cadmio procedentes de las industrias galvanoplásticas es un peligro potencial que se le presenta al medio ambiente y en especial, a la población. Se conoce que algunos metales, incluyendo los pesados, a concentraciones bajas participan en diferentes rutas metabólicas, pero en concentraciones elevadas, pueden ser tóxicos para muchos organismos vivos. Algunos microorganismos toman metales pesados del medio ambiente, siendo capaces de concentrar y acumular grandes cantidades de ellos en diferentes estructuras citoplasmáticas, sin que lleguen a ocasionarles efectos tóxicos. Las microalgas son un ejemplo de este comportamiento, ya que tienen afinidad por los metales polivalentes, de ahí, la posibilidad de su aplicación como agentes descontaminantes en aguas que contengan iones metálicos en disolución como método alternativo cuando es eficaz su empleo como método de recuperación. En este trabajo, se llevó a cabo la eliminación de cromo y cadmio presentes en aguas residuales galvanicas, empleando un reactor con un cultivo de *Scenedesmus obliquus* inmovilizado. Se obtuvo una eficiencia de eliminación de Cr(III) del 92,40 y del 95 % para el Cd(II). El rápido ascenso experimentado en el pH tuvo un efecto importante sobre la forma de eliminación del metal por la microalga *Scenedesmus obliquus*, todo lo cual, permitió que los metales en disolución formaran un precipitado que sedimenta formando un lodo de color verde-azul. De esta manera, se logra recuperar del 83 al 85 % de la masa de los iones metálicos presentes en el agua residual tratada. La temperatura del agua residual se mantuvo entre 22,5 y 34 °C, condición óptima para el buen desarrollo del *Scenedesmus obliquus*, así como del proceso de eliminación de esos metales pesados.

ABSTRACT. Dumping wastewaters from plating industry with a high content in chromium and cadmium is a potential hazard that is presented to the environment and specially to the population. It is known that some metals, including the heavy metals, at low concentrations participate in different metabolic routes, but at high concentrations are toxic for many living organisms. Some microorganisms taking the heavy metals from the environment are capable of concentrating and accumulating large quantities of them in different cytoplasmatic structures with non-toxic effects. Microalgae have affinity by the polyvalent metals making possible their use as depollutant agent in waters that contain metallic ions in solution as alternative methods when their employment is effective as recovery method. In this report a chromium and cadmium removal study from a plating wastewater, using a reactor with immobilized *Scenedesmus obliquus* culture was made. The removal efficiency of Cr(III) was 92,40 % and Cd(II) was 95 %. The quick increase experienced in the pH had an important effect on the form of removal of the metal for the microalga *Scenedesmus obliquus*, all which allowed that the metals in solution formed a precipitate and it was deposited forming a green-blue mud. It was possible to recover from 83 to 85 % of the mass of the metallic ions present in the treated wastewater. The temperature of the wastewater maintained values between 22,5 and 34 °C, which are useful for the good development of the *Scenedesmus obliquus*, as well as for the process of heavy metals removal.

INTRODUCCION

La contaminación ambiental es un problema de gran repercusión mundial. El deterioro de diversos ecosistemas, que traen consigo la pérdida de la calidad ambiental, se ha incrementado cada día más con la actividad humana.

La industria galvanica produce un conjunto de efluentes que por sus características representan un problema medioambiental. Por otro lado, resulta interesante la posible recuperación o separación de algunos de sus componentes con el objetivo de ser reutilizados. Entre los elementos que están presentes en este tipo de aguas residuales se encuentran los iones de cromo y cadmio, los cuales representan para los cuerpos receptores un serio problema de contaminación ambiental con el perjuicio de los organismos vivos.

La prevención de la contaminación es la solución ideal, pero la propia actitud del hombre, los accidentes industriales y los depósitos naturales de minería, no favorecen la protección ecológica, lo cual ha obligado al desarrollo de sistemas novedosos para el tratamiento de estos tipos de efluentes. Se conoce que últimamente se han desarrollado métodos de recuperación de Cr(VI) mediante el uso de sistemas basados en membranas,¹⁻⁴ que tienen ventajas muy positivas respecto a los métodos tradicionales (precipitación con hidróxido, concentración por evaporación, intercambio iónico, adsorción y extracción con

disolventes), otra alternativa de interés con respecto a las técnicas tradicionales es el uso de los métodos biológicos. Con el empleo de la biotecnología, se obtienen soluciones efectivas para la biorremediación de los suelos, el aire y las aguas contaminadas con metales pesados.

La biorremediación se basa en la utilización de sistemas biológicos (bacterias, levaduras, hongos y algas) para la restauración del medio ambiente, en este sentido, el uso de los microorganismos ha sido enfocado en primer lugar, en la degradación microbiana de contaminantes orgánicos, por la capacidad que poseen de oxidar estos compuestos a CO_2 .⁵ Sin embargo, la estrategia de la biorremediación para metales pesados, aún no ha sido totalmente desarrollada, ni aplicada a gran escala.⁶

A diferencia de otros métodos, esta tecnología es uno de los más baratos entre los muchos que se usan para el tratamiento de desechos peligrosos; puede llevarse a cabo en el propio sitio de contaminación y con mínima alteración física alrededor del área tratada.⁷

Otras ventajas que presenta este importante potencial biotecnológico con respecto a las tecnologías tradicionales utilizadas para la descontaminación ambiental son:⁸

- La biorremediación refuerza los procesos biogeoquímicos.
- Los compuestos químicos tóxicos son destruidos o eliminados del ambiente y no simplemente separados.
- Requiere menos energía en comparación con otras tecnologías.
- Menos supervisión manual.

Se conoce que las microalgas tienen afinidad por los metales polivalentes, de ahí, la perspectiva de su posible uso como agente descontaminante en líquidos que contengan residuos de iones metálicos en disolución.⁹

Las microalgas ofrecen la ventaja de que pueden ser cultivadas en lagunas, con pequeños requerimientos de nutrientes para su mantenimiento y desarrollo. Las lagunas de estabilización constituyen la etapa final del proceso de depuración en muchas plantas de tratamiento de aguas residuales. También han sido objeto de investigación, en el tratamiento de efluentes de tene-rías.¹⁰

Por lo que este trabajo tuvo como objetivo la posible eliminación de los iones Cr(III) y Cd(II) , presentes

en las aguas residuales de un taller de galvanizado, utilizando como método biológico de tratamiento el empleo de la microalga *Scenedesmus obliquus* en estado inmovilizado.

MATERIALES Y METODOS

Microorganismo

La cepa utilizada en las experiencias fue la microalga verde de agua fresca *Scenedesmus obliquus*, procedente de la colección de microalgas del Centro Nacional de Investigaciones Científicas, en Ciudad de La Habana. Para su crecimiento y mantenimiento se utilizó el medio AES,¹¹ el cual garantiza óptimas condiciones fisiológicas. A esta cepa se le realizaron pases a tubos con medio fresco y estéril cada 15 d. En el cepario se mantuvieron bajo un régimen de ciclo alternativo de luz y oscuridad de 12 x 12 h con luz de 2 000 lux y a 20 °C.

Reactor

Para llevar a cabo este estudio, se realizó el diseño de un reactor (BIOALGA) (Fig. 1). Es un equipo compuesto por un estanque (2), al cual llega el agua residual a tratar trasvasada por una bomba centrífuga (7) y la tubería con una válvula de flotante acoplada en su extremo (3), dentro del reactor se puede apreciar un tambor rotatorio (4) que se reviste con una capa de espuma de poliuretano de elevada densidad (5).

Acoplado al tambor rotatorio se colocó un motorreductor (1) que presenta un variador de velocidades, su función es variar la velocidad de giro del tambor, la salida del agua tratada del equipo se realiza por medio de una tubería (6) colocada en la parte inferior del equipo.

Características

La tabla 1 presenta las características constructivas (dimensiones) principales del reactor utilizado en el tratamiento de las aguas residuales de un taller de galvanotecnica.

Agua residual

El agua residual utilizada en las experiencias, provino de los efluentes de un taller de galvanotecnica (Tabla 2).

Al agua residual se le añadió medio de cultivo (agua de albañal) sintético para algas¹² con el objetivo de proporcionar una fuente nutritiva que permitiera el crecimiento y desarrollo de las microalgas.

El medio de cultivo (agua de albañal) sintético para algas tuvo la composición siguiente (mL/6 L):

Disolución de peptona	33,0
Disolución de NaHCO_3	30,0
Disolución traza	6,0
H_2SO_4 concentrado	0,3

A este medio de cultivo se le ajustó el pH a 6,4. La disolución traza se preparó disolviendo en 1 L de agua destilada las cantidades (g) de los reactivos siguientes:

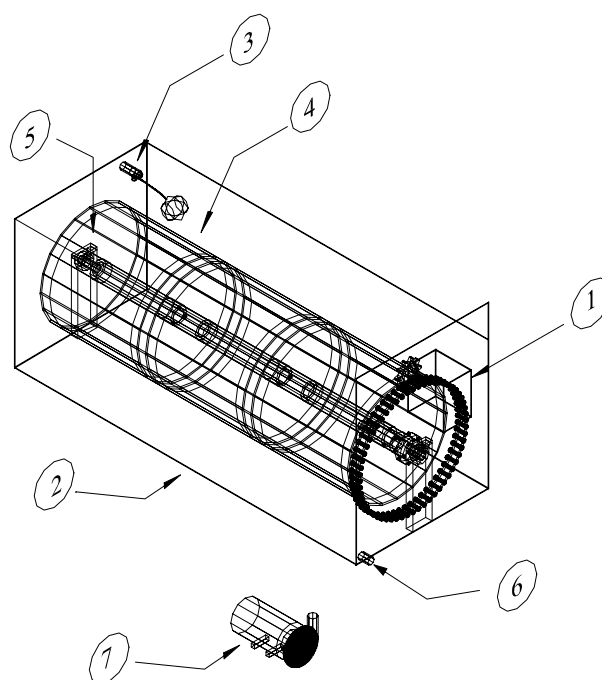


Fig. 1. Esquema del reactor BIOALGA (Isométrico).

Tabla 1. Dimensiones del reactor utilizado.

	Dimensiones
Ancho (cm)	41
Largo (cm)	106
Altura total (cm)	40
Altura del líquido (cm)	30
Diámetro del tambor (cm)	30
Longitud del tambor (cm)	90
Área superficial del soporte (cm ²)	8 482
Volumen de trabajo (L)	150
Relación (m ² soporte /m ³ de reactor)	5,65

MgSO ₄ · 7H ₂ O	22,83
MgSO ₄ · 4H ₂ O	2,97
FeSO ₄ · 2H ₂ O	0,68
KCl	3,15
(NH ₄) ₂ SO ₄	63,6
K ₂ HPO ₄ · 3H ₂ O	57,64
CaCl ₂ · 2H ₂ O	2,24

Las disoluciones de NaHCO₃ y peptona se prepararon, por separado, disolviendo 50 y 53 g en 1 L de agua destilada, respectivamente.

Métodos analíticos

Todos los métodos y procedimientos analíticos empleados se realizaron según métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.¹³

- La preparación de las muestras, así como las determinaciones de las concentraciones de cromo total, cadmio y los restantes iones metálicos mediante Espectrometría de Absorción Atómica con llama aire-acetileno. En el caso del Cr(VI) se utilizaron métodos volumétricos normalizados con sal de Mohr.
- El pH se determinó empleando un potenciómetro.

- La temperatura del agua residual en el reactor se determinó empleando un termómetro con escala 0 a 100 °C.

- La densidad óptica se determinó mediante un espectrofotómetro Speckol m10 a las longitudes de onda: 663, 645 y 630.

- Mediante el método tricromático se realizaron determinaciones de clorofila en las muestras líquidas y sólidas (microalgas inmovilizadas en la espuma de poliuretano), así como observaciones al microscopio óptico Olimpos BH-2 de los cultivos.

Las preparaciones se realizaron mediante la adición de una alícuota de 0,10 mL del cultivo a observar sobre un portaobjeto posteriormente cubierto con un cubre objeto, se realizó la observación con objetivos (40x) y juego de oculares (10x/20 L).

Montaje de los experimentos

Para llevar a cabo la posible eliminación de los iones Cr(III) y Cd(II) presentes en las aguas residuales de un taller de galvanotecnia (ARTG), se decidió realizar los experimentos utilizando, la microalga en estado

inmovilizado, dado las ventajas que brinda esta técnica, las cuales han sido bien descritas en la literatura,¹⁴ así como comenzar con una concentración inicial de Cr(III) entre 80 y 90 mg/L, por ser el intervalo de concentración con el que se obtuvo mayor eficiencia de eliminación de Cr(III), utilizando la microalga en estado libre, según estudios previos realizados por Pellón y col.¹⁵

Para lograr esa concentración, se tomaron 50 L de las ARTG con una concentración inicial de Cr(VI) de 343 mg/L y Cd(II) de 21,40 mg/L (Tabla 2) y se realizó una dilución 1 : 4 con agua de albañal sintética para algas (AAS), hasta 200 L. El cromo en disolución que se encontraba como Cr(VI), fue reducido a Cr(III) con 180 g de sulfito industrial, este proceso de reducción se hace completo en medio ácido por lo que se añadieron 10 mL de ácido clorhídrico concentrado hasta alcanzar pH 2,3. En este medio tan ácido la microalga no sobrevive, por lo tanto, se ajustó el pH a 4 con una disolución de hidróxido de sodio (Tabla 3).

Utilizando una bomba centrífuga se trasvasó el agua residual (mezcla: ARTG + AAS) al reactor biológico, de 150 L. En él se encontraba la microalga *Scenedesmus obliquus* inmovilizada sobre el medio soporte (poliuretano con densidad 20, compuesta por tres planchas con dimensiones de (0,94 X 0,30) m de superficie y espesor de 0,02 m) cubriendo la columna rotatoria, la cual a su vez, se encontraba inmersa en el agua residual a tratar hasta un 80 % de su superficie total. La velocidad de rotación de esta columna fue de 1,0 min⁻¹.

Se concibió el experimento con una duración de 2 d, partiendo de resultados previos obtenidos por

Tabla 2. Composición del agua residual (mg/L).

Cr(VI)	Cr(III)	Mg(II)	Cu(II)	Fe(II)	Ni(II)	Co(II)	Mn(II)	Cd(II)	Pb(II)	Zn(II)
343,00	20,00	8,33	4,69	0,35	0,94	< 0,05	0,85	21,40	< 0,10	10,00

Se muestran los valores medios de los resultados obtenidos por triplicado, con un 2 % de error como máximo.

Tabla 3. Volúmenes de disolución de ARTG y AAS añadidos al reactor, (porcentaje del volumen total).

Dilución	Concentración (mg/L)				Volumen (%)	
	Inicial		Promedio obtenida		De ARTG	De AAS
	Cr (VI)	Cd(II)	Cr (VI)	Cd(II)		
1 / 4	343	21,40	85,6	7,4	25	75

ARTG Aguas residuales de un taller de galvanotecnia. AAS Agua de albañal sintética.

Pellón y col.,¹⁵ en los cuales, se utilizó la misma especie de microalga en estado libre. Se efectuaron tomas de muestras a las 0, 4, 8, 16, 24, 28, 32, 40 y 48 h. Se realizaron determinaciones de cromo y cadmio, así como mediciones de pH y temperatura a las muestras líquidas. A la muestra sólida (lodo), se le determinó el contenido de todos los metales que se encontraban presentes en el agua residual al inicio del experimento. Con el fin de darle seguimiento al estado fisiológico de la microalga *Scenedesmus obliquus* se efectuaron determinaciones de clorofila, así como observaciones al microscopio óptico. Se realizaron tres réplicas.

Inmovilización de la microalga

Para la inmovilización, se tomó un inóculo de la microalga *Scenedesmus obliquus* de 2 L y densidad óptica uno, el cual se añadió directamente sobre el medio soporte que cubría la columna rotatoria. El reactor biológico contenía 100 L de AAS.

El medio soporte estuvo en contacto con la microalga durante veintidós días. Al término de este período, fue colonizada la matriz de inmovilización por la microalga y la densidad óptica del AAS era solo un 10 % de la obtenida al inicio del proceso que era de 1. Es decir, que el 90 % de la biomasa presente (suspensión) al inicio del proceso de inmovilización ya había pasado al medio soporte, por tanto, se dio por culminada la etapa de inmovilización.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se pudo apreciar un aumento en las concentraciones de clorofila con el transcurso del tiempo de experimentación en el cultivo de *Scenedesmus Obliquus* en estado inmovilizado (Cs) expresado como clorofila (mg/cm² de superficie del soporte de inmovilización), así como en las células que emigran desde la matriz soporte para la inmovilización (esuma de poliuretano) hacia el agua residual (Cl) expresado como clorofila (mg/L) (Fig. 2).

Los resultados representados por Cs, indican que el cultivo de *Scenedesmus Obliquus* mantuvo un crecimiento y desarrollo ascendente durante todo el experimento teniendo como cantidad inicial 4,70 mg/cm² y como final 9,43 mg/cm². Estos resultados muestran las buenas condiciones fisiológicas que mantuvieron las células de la microalga a pesar de las condiciones adversas del medio en que se encontraban: concentraciones de los iones metá-

licos fundamentalmente Cr(III) y Cd(II) (85,6 y 7,4 mg/L respectivamente), así como el pH (4) inicial.

Lo anterior se pudo verificar a través de observaciones de las células de *Scenedesmus Obliquus* al microscopio óptico, las que revelaron la no existencia de cambios morfológicos: color verde intenso, forma ovalada con los extremos terminales en punta, observación clara del pirenoide, en general, un buen estado físico de las células.

Por otro lado, los representados por Cl, muestran la aparición y posterior crecimiento de las células de *Scenedesmus Obliquus* en el agua residual a partir de su liberación del soporte de inmovilización durante el experimento, teniendo como inicial 0 mg/L y como final 0,24 mg/L. La liberación de células de *Scenedesmus Obliquus* resultó bastante pequeña, ya que representó el 2,55 % de la biomasa que se encontraba inmovilizada en el reactor (Fig. 2).

La temperatura fue medida directamente en el agua residual y osciló entre 29,4 y 34 °C, y como valor promedio 32,5 °C, durante las horas del día. Durante la noche se mantuvo entre 22,5 y 24 con 23 °C como promedio. Este parámetro es importante, ya que a temperaturas por debajo de 10 °C o por encima de 60 °C, el proceso de captura de iones por parte de las microalgas comienza a disminuir considerablemente, mientras que el intervalo óptimo de temperatura para este tipo de proceso está entre 10 y 40 °C.¹⁶

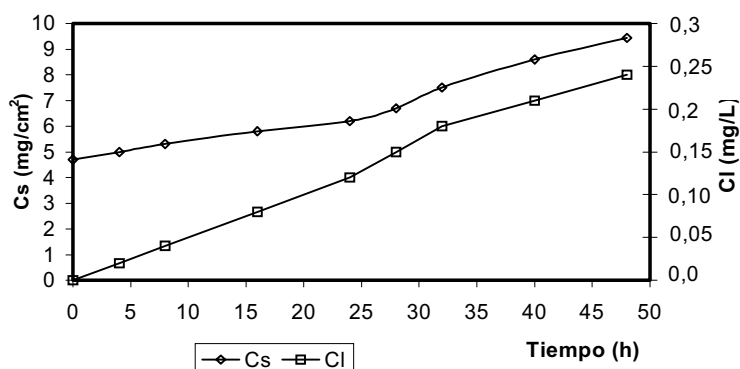
El control de la temperatura es de vital importancia para el buen desarrollo de este trabajo si se tiene en cuenta que la microalga *Scenedesmus Obliquus* es una especie mesófila, que alcanza un desa-

rollo óptimo en un intervalo de temperaturas entre 31 y 36 °C.¹⁷

Se pudo apreciar que las concentraciones de Cr(III) y Cd(II) en la disolución disminuyen en la medida que aumenta el pH. En ambos casos, para un mismo tiempo de experimentación (Fig. 3).

Para el caso del Cr(III), la eliminación fue de 85,6 a 10,6 mg/L en las primeras 24 h, con lo que se alcanzó una eficiencia en el proceso del 87,62 %. Para un período de experimentación de 40 h, se logró una eliminación de 85,60 a 6,50 mg/L, con lo cual, se obtuvo una eficiencia final en el proceso del 92,40 %. Para el Cd(II), la eliminación fue de 7,40 a 0,90 mg/L en las primeras 24 h, con una eficiencia en el proceso del 87,83 %. Para un período de experimentación de 40 h, se logró una eliminación de 7,40 a 0,37 mg/L con lo cual, se obtuvo una eficiencia final en el proceso del 95,0 %.

Los resultados muestran la eficacia del *Scenedesmus obliquus* en estado inmovilizado en el tratamiento de aguas residuales con iones Cr(III) y Cd(II), pues a las 4 h el pH de la disolución se incrementó a 6,8 (Fig. 3), teniendo en cuenta que el pH óptimo para el cultivo de esta especie de microalgas está entre 4,5 y 6,5, lo cual permitió obtener para ese mismo tiempo de experimentación, una eficiencia de eliminación de los iones Cr(III) de 66,47 % (85,6 a 28,7 mg/L) con una velocidad de eliminación de 14,23 mg/L Cr(III)/h. En el caso de los iones Cd(II), la eficiencia de eliminación fue del 61,00 % (7,40 a 2,88 mg/L) y la velocidad de eliminación de 1,13 mg/L Cd(II)/h. El aumento del pH provoca que el medio se haga muy adecuado para la precipitación y posterior sedi-



Cantidad de clorofila de la microalga *Scenedesmus Obliquus* inmovilizada en el soporte (Cs), en suspensión en el agua residual (Cl).

Fig. 2. Comportamiento del cultivo de *Scenedesmus Obliquus* a diferentes tiempos de experimentación, en las condiciones del reactor para concentraciones iniciales de Cr(III) de 85,6 mg/L y Cd(II) de 7,4 mg/L. Se muestran los valores promedios para n = 9.

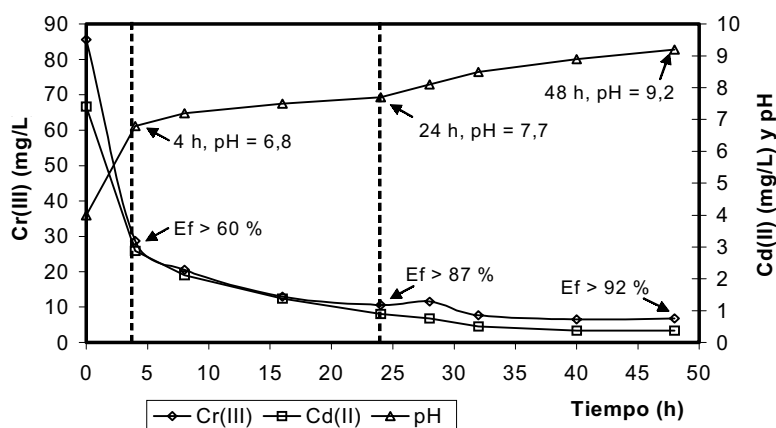


Fig. 3. Resultados de la eliminación de Cr(III), Cd(II) y medición de pH, a diferentes tiempos de experimentación, en las condiciones del reactor para concentraciones iniciales de Cr(III) de 85,6 mg/L y Cd(II) de 7,4 mg/L. Se muestran los valores promedios para $n = 9$.

mentación (si se parte de que el proceso de precipitación de estos iones comienza a pH 4,5) de los iones Cr(III) y Cd(II) en forma de hidróxidos, los cuales son insolubles en agua. Para un tiempo de experimentación de cuatro horas se obtuvieron las mayores velocidades de eliminación de los metales cromo y cadmio durante todo el experimento. Esto se puede apreciar por las pendientes de las líneas que unen los puntos experimentales en la figura 3.

Todo lo anterior se debe a que el *Scenedesmus obliquus* utiliza para su nutrición, la fuente de carbono inorgánica que se encuentre en el agua residual a partir del proceso de la fotosíntesis, durante las horas del día. Si se tiene en cuenta que el experimento comienza a pH 4, en este momento la fuente de carbono inorgánico que se encuentra presente mayoritariamente en el agua residual es el CO_2 , por lo que el *Scenedesmus obliquus* comienza a consumirlo, ya que esta microalga presenta la característica de preferir el CO_2 en su forma libre,¹⁷ lo cual provoca un aumento del pH y con esto el desplazamiento del equilibrio $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$, hacia la formación del HCO_3^- (pH 8,3), el cual lo consume de manera eficiente y posteriormente, la aparición del CO_3^{2-} cuyo punto máximo es a pH 12. Todo este proceso conduce a un aumento progresivo del pH en el medio (Fig. 3) y con esto, la precipitación y posterior eliminación por sedimentación de los iones metálicos que se encuentran en disolución (Fig. 3).

El pH mantuvo un comportamiento ascendente durante todo el experimento hasta un valor final de 9,2 (Fig. 3), para un tiempo de experi-

mentación 48 h. Se pudo observar que los resultados en cuanto a eliminación de cromo y cadmio para los tiempos de experimentación 40 y 48 h eran los mismos (Fig. 3), por lo que el sistema había llegado al punto de equilibrio y se decidió finalizar el experimento.

De acuerdo con la estequiometría del proceso, se debían obtener teóricamente 18,75 g de Cr_2O_3 , 1,27 g de CdO, 221 mg de CuO, 18,77 mg de Fe_2O_3 , 44,81 mg de NiO, 40,91 mg de MnO , 467 mg de ZnO y 521 mg de MgO, lo que hace una masa total de 21,33 g.

Con la extracción del lodo formado en el fondo del reactor, filtración al vacío del licor que presentó un contenido de sólidos de 0,34 %, 4 L y una densidad de 1,16 kg/L, se logró una torta de 100 g (56,31 g de sólidos secos y 43,68 % de humedad), posteriormente, se realizó un proceso de incineración, del cual, se obtuvo ceniza con un peso de 17,84 g que representó un 83,65 % de rendimiento del teórico (Tabla 4).

Partiendo de los resultados (Tabla 4), se puede plantear que se logró recuperar entre el 83 y el 85 % en masa de cada uno de los iones metálicos que se encontraban en disolución en el agua residual al inicio del experimento.

CONCLUSIONES

El *Scenedesmus obliquus* en estado inmovilizado resultó efectivo

en la eliminación de los iones cromo y cadmio presentes en las aguas residuales de un taller de galvanotecnia con una eficiencia del 92,40 y 95,0 % respectivamente.

La inmovilización de la microalga *Scenedesmus obliquus* garantizó permitió que no fuese afectada morfológicamente por las concentraciones de Cr(III) y Cd(II), así como por el pH del agua residual una vez sometida a tratamiento.

La acción del *Scenedesmus obliquus* sobre el agua residual a tratar permitió recuperar del 83 al 85 % de los iones Cr(III) y Cd(II) que se encontraban en disolución en el agua residual al inicio del experimento.

Se debe continuar investigando las potencialidades del *Scenedesmus obliquus* en estado inmovilizado con el fin de lograr un efluente que presente una concentración de cromo total inferior a 2,0 mg/L y de cadmio menor de 0,30 mg/L, que son los límites máximos permisibles promedio establecidos por la norma cubana de vertimiento de aguas residuales al alcantarillado, para el caso de estos iones metálicos en disolución.

BIBLIOGRAFIA

1. Sastre A. M., Kumar A., Shukla J. P. and Singh R. K. Sep. **Purif. Methods**, **27**, 213-298, 1998.
2. Molinari R., Buonomena M.G. and Drioli E. P. Massacci (Ed.), Proc of the XXI International Processing Congress, vol. A, Elsevier Amsterdam A6, 95-A6, 102, 2000.
3. Alguacil F.J., Coedo A.G. and Dorado M.T. **Hydrometallurgy**, **57**, 51-56, 2000.
4. Sánchez A., Ballester A., Blázquez M.L., Gonzalez F., Muñoz J. and Hammami A. **Fems Microbiol. Reviews**, **23**, 527-536, 1999.
5. Pieper D. H. and Reineke W. Engineering bacteria for bioremediation. **Current Opinion in Biotechnology**, **11**, 262-270, 2000.
6. Volesky B. Biosorption for the next century. El Escorial, Spain, June 20-23, 1999 B.
7. Volesky B. "BIOSORPTION". www.Volesky.edu.ca, abril, 2003.
8. Volesky B. and PHILLIPS J. **Environmental and Technology**, **10**, 225-233, 1995.
9. Travieso L., Cañizares R.O., Benítez F., Borjas R., Domínguez A.R., Dupeyron R. Remoción de cadmio, cinc y cromo en sistemas de microalgas. *Actas*,

Tabla 4. Composición química del lodo obtenido en el proceso de tratamiento de las aguas residuales de un taller de galvanotecnia.

Metal	Cr	Cd	Cu	Fe	Ni	Mn	Zn	Mg
(g)	10,74	0,93	0,147	0,011	0,030	0,027	0,313	0,261

- Plantología '98. Centro Inv. Pesque-
ras, La Habana, 19 al 21 de junio,
1998.
10. Laubscher RK., Rose PD. and Aken
ME. Saline tannery effluents as
growth media for the halophilic alga
Dunaliella salina. 6th Congr. S. Afr.
Soc. Microbiol., University of Stel-
lenbosch. 8.18, 1990.
11. Catálogo de Cultivos Microbianos.
Dpto. de Bioingeniería y Biotech-
nología. CINVESTAV. IPN. 1ra Edición.
México, 1982.
12. Valiente V. Compendio de Medios de
Cultivos, Disoluciones y Extractos
para Microalgas y Cianobacterias.
Dpto. de Estudios sobre Contami-
nación Ambiental, Centro Nacional
de Investigaciones Científicas, 1ra
Edición, Ciudad de La Habana, 1995.
13. APHA, AWWA, WPCF. Métodos nor-
malizados para el análisis de aguas
potables y residuales, 1992.
14. Travieso L., Benítez F., Sánchez E. y
Pellón A. Patente CU 22948. Equipo y
Método para la Remoción de Metales
Pesados y Nutrientes Mediante
Microalgas Inmovilizadas, 2003.
15. Pellón A., Benítez F., Frades J., García
L., Cerpa A y Alguacil F.J. Empleo de
la Microalga *Scenedesmus Obliquus*
en la Eliminación de Cromo Presente
en Aguas Residuales Galvánicas.
Revista de Metalurgia, 39, 9-16, Ma-
drid, España, 2003.
16. Kuyucak N. and Volesky B. **CIM Bul-
letin**, 81, 95-99, 1988.
17. Borowitzka M.A. *Microalgae Biotechnol-
ogy*, University Press, Cambridge, 1988.



RESULTADOS CIENTIFICOS DESTACADOS MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR DE CUBA

LA CALIDAD DE LAS MIELES DE ABEJAS ESPECIFICAS CUBANAS

Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de la Habana y Estación Experimental Apícola del Ministerio de la Agricultura.

Con el nombre de mieles de abejas específicas se agrupan todas aquellas procedentes mayoritariamente de una misma fuente floral o de una región geográfica determinada. A estas mieles se les atribuyen las propiedades terapéuticas de las plantas que les dan origen y junto con este aspecto está el hecho de que presentan un delicado aroma y sabor que las identifica y diferencia, los cuales las hacen muy atractivas, con una gran demanda y precios en el mercado internacional. Por lo anterior, se realizan importantes esfuerzos en la caracterización de las mieles uniflorales o específicas encaminados a lograr la certificación de su origen botánico.

En Cuba, las mieles uniflorales carecían del certificado de autenticidad, por lo que se dificultaba su inserción en el mercado internacional bajo esta condición. Por esta razón, se decidió acometer un estudio dirigido a la caracterización de cuatro tipos de mieles de abejas procedentes de las plantaciones de campanilla blanca (*Turbina corymbosa*); mangle prieto (*Avicennia germinans*); romerillo de costa (*Viguiera helianthoides*) y leñatero (*Govania polygama*).

Una de las primeras tareas acometidas fue la determinación de los indicadores de calidad de la miel. Un primer grupo lo constituyeron los de composición química. Se utilizaron los propuestos por la Comisión Internacional de la Miel, empleando métodos de análisis armonizados con los de la Unión Europea, el Código Alimentarius y las Normas Cubanas. Algunos de estos indicadores son: perfil de azúcares (fructosa, glucosa, sacarosa, turanosa, maltosa y otros); humedad, sólidos solubles, pH, acidez libre, actividad de la diastasa, contenido de minerales (calcio, magnesio, sodio y hierro) y compuestos nitrogenados, entre otros. El segundo grupo de indicadores de calidad determinado fue el de las propiedades físicas de la miel (color, conductividad eléctrica, tendencia a la cristalización, entre otros).

Otra tarea importante acometida fue la evaluación sensorial de las mieles, para lo cual, se creó una comisión de evaluación sensorial, basada en un proceso de preselección, evaluación y selección de candidatos a jueces y su adiestramiento posterior, tanto práctico como teórico para integrar finalmente un equipo de catadores compuesto por cinco jueces quienes realizaron la evaluación de las muestras seleccionadas según diseño experimental, empleando el método de análisis descriptivo cuantitativo.

Los principales atributos descriptores de la calidad sensorial de la miel evaluados fueron: brillo, aspecto homogéneo, transparencia, color ámbar, olor floral, olor dulce, olor característico, sabor dulce, sabor floral, sabor amargo, sabor residual pungente, viscosidad y pegajosidad.

De 52 variables descriptivas estudiadas para la caracterización de las cuatro mieles uniflorales cubanas, se emplearon solo 32 para la diferenciación y bastaron 11 para la correcta clasificación de las mieles según su procedencia, lo cual implica un ahorro de tiempo y recursos.

La investigación permitió describir por primera vez en el país, el comportamiento de un grupo de indicadores físico-químicos que hasta el momento eran desconocidos para mieles de abejas cubanas y se logró por primera vez la caracterización sensorial de mieles uniflorales mediante técnicas analíticas de evaluación sensorial.

Los resultados han sido incluidos en los certificados de calidad que emite la Estación Experimental Apícola para sus producciones comerciales con sus correspondientes beneficios.