

Jonatan Torres Pérez
(Coordinador)

UACJ



*Ciencia en la frontera:
revista de ciencia y tecnología
de la Universidad Autónoma
de Ciudad Juárez*

DIRECTORIO
Ricardo Duarte Jáquez
Rector

David Ramírez Perea
Secretario General

Manuel Loera de la Rosa
Secretario Académico

Luis Enrique Gutiérrez Casas
*Coordinador General de
Investigación y Posgrado*

Daniel Constandse Cortez
Director del Instituto de Ciencias Biomédicas

Alejandro Martínez Martínez
Jefe del Departamento de Ciencias Químico Biológicas

Ramón Chavira Chavira
*Director General de Difusión
Cultural y Divulgación Científica*

CONSEJO EDITORIAL
Daniel Constandse Cortez
Director General

Jorge Alberto Pérez León
Coordinador Editorial

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Rosalía del Carmen Castelán Vega
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. Jonatan Torres Pérez
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Dr. Gilberto Velásquez Angulo
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Dr. Ignacio Villanueva Fierro
Instituto Politécnico Nacional (Ciidir Durango)

Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. Arturo Colín Cruz
Universidad Autónoma del Estado de México

Dr. Stefan Waliszewski Kubiak
Universidad Veracruzana

Dr. José Víctor Tamariz Flores
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. José Mariano Rigoberto Montiel G.
Universidad Autónoma de Tlaxcala

Dr. Jesús Jasso Mata
Colegio de Postgraduados (Campus Montecillo)

Dr. Toutcha Lebgue Keleng
Universidad Autónoma de Chihuahua

Dr. Javier Arece García
Estación Experimental Indio Hatuey

Dr. Alfonso Hinojosa Cuéllar
Universidad Popular de la Chontalpa

Dra. Irene Carrillo Saucedo
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Dr. Alejandro Martínez Martínez
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS,
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS**

Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ / Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Coordinación General de Investigación y Posgrado. Vol. 11. (2013). Ciudad Juárez, Chih.: UACJ, 2013. v.; 21 cm. Seriado

Apoyado con Recursos PIFI

Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ Vol. xi, Núm. 2, 2013, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, a través del Instituto de Ciencias Biomédicas y de la Coordinación General de Investigación y Posgrado del ICB y el Departamento de Ciencias Básicas. Editor responsable: Luis Fernando Plenge Tellechea. Reserva al uso exclusivo otorgada por INDAUTOR Núm. 04-2013-03221300-5400-102 y el ISSN 2007-042X. Publicidad, anuncios y suscripciones, dirigirse a: *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, Heroico Colegio Militar 3775, 32310, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Tel. (656) 688 18 85. **Copyright** © UACJ. Esta obra se terminó de imprimir en octubre de 2013 en los talleres de Solar Editores, calle 2, número 21, San Pedro de Los Pinos, C.P.03800, México, D.F. Tiraje: 100 ejemplares.

Los manuscritos propuestos para publicación en esta revista deberán ser inéditos y no haber sido sometidos a consideración a otras revistas simultáneamente. Al enviar los manuscritos y ser aceptados para su publicación, los autores aceptan que todos los derechos se transfieren a *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, quien se reserva los de reproducción y distribución, ya sean fotográficos, en micropelícula, electrónicos o cualquier otro medio, y no podrán ser utilizados sin permiso por escrito de *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*; véase, además, notas para autores.

Permisos para otros usos: el propietario de los derechos no permite utilizar copias para distribución en general, promociones, la creación de nuevos trabajos o reventa. Para estos propósitos, dirigirse a: *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, correo electrónico: fplenge@uacj.mx

CONTENIDO

Material particulado dispersado al aire en áreas sin asfalto en Ciudad Juárez <i>Joel Adrián Hernández Escamilla, Juan Pedro Flores Margez, Maribel Flores Ramírez, Nadia Rodríguez Mendoza, Marcos Delgado Ríos, Manoj K. Shukla y Dave DuBois</i>	9
Evaluación de la implementación de un filtro biológico con <i>Eichhornia crassipes</i> en el embalse de la Central Hidroeléctrica Porce II de EPM <i>Tatihana Castro Cardona y Julio César Saldarriaga Molina</i>	15
Degradación de hidrocarburos policíclicos aromáticos de alto peso molecular con bacterias nativas de un suelo contaminado <i>Estefanía Mireles Morales, Evangelina Camacho Frías y Josefina Barrera Cortés</i>	25
Calidad del agua para uso acuícola de la Laguna de Tres Palos del municipio de Acapulco, Gro. <i>S. S. García, B. G. Toache, T. V. del C. López, J. I. Benítez V., A. A. Juárez y G. M. Rivas</i>	33
Uso de la señalética para la educación ambiental del humedal “Laguna de Zapotlán” <i>J. Guadalupe Michel Parra, Manuel Guzmán Arroyo, Héctor Cruz Michel Parra, Tomás Orendáin Verduzco, José Luis Cárdenas Ramos, José Raúl Montes de Oca Padilla y Ana Lizeth Íñiguez Chávez</i>	47
Remoción de hidrocarburos policíclicos aromáticos de alto peso molecular mediante bacterias asociadas a sustancias húmicas <i>Guillermo Onofre Dolores, Estefanía Mireles-Morales, José L. Morales-Romero, Evangelina Camacho Frías y Josefina Barrera-Cortés</i>	63
Propuesta de una red neuronal artificial para el pronóstico de la calidad del aire con base en PM₁₀ <i>Jesús M. Carrera-Velueta, Elizabeth Magaña-Villegas, Sergio Ramos-Herrera, José R. Hernández-Barajas, José R. Laines-Canepa y Raúl G. Bautista-Margulis</i>	71
Percepción de la comunidad de Barra Vieja sobre la contaminación de la Laguna de Tres Palos, en Guerrero <i>V. López, G. Toache, J. López, S. García, J. I. Benítez, A. Juárez y M. Rivas</i>	79

ABSTRACTS

Particulate matter dispersed to air in unpaved areas from Ciudad Juárez

Joel Adrián Hernández Escamilla, Juan Pedro Flores Margez, Maribel Flores Ramírez, Nadia Rodríguez Mendoza, Marcos Delgado Ríos, Manoj K. Shukla, and Dave DuBois9

Particulate matter (MP) has different sizes, which are of 2.5 μm and total suspended particles (TSP), among others. The material is related to different cardiorespiratory system damage. The study was conducted at four strategic points in Ciudad Juárez, Chihuahua, with coverage from North to South. The study sites were characterized to include large areas of unpaved streets. Maximum values in monitoring the 2012 $\text{MP}_{2.5}$ detected in DustTrak® were 2.3 mg/m^3 in April, 1.58 mg/m^3 for the month of May, 4.61 mg/m^3 in June, and 0.448 mg/m^3 for the month of July, while the technique of rotors was 1.29 mg/m^3 in monitoring of March to TSP. For monitoring of 2013, the maximum values for $\text{MP}_{2.5}$ were 0.1 mg/m^3 for February 20th and 24th; 0.158 and 0.178 for March 4th and 8th, respectively; while for TSP were 10.64 mg/m^3 for January 29th; for the month of February, 0.48 and 0.41 mg/m^3 for 20th and 24th, respectively; and for March 4th, 22th, and 24th had values of 1.33 mg/m^3 , 0.27 mg/m^3 , and .052 mg/m^3 , respectively. $\text{MP}_{2.5}$ concentrations in areas southeast of Ciudad Juárez without asphalt exceeded the values of the NOM-025-SSA1-1993, which are 0.065 mg/m^3 for $\text{MP}_{2.5}$, and for total solids (TSP) a maximum concentration value of 0.21 mg/m^3 allowed, exceeding it during the dates where there were dust storm. For this reason is the importance of assessing the quality of air in relation to $\text{MP}_{2.5}$ and TSP because has an adverse impact to health and these areas have the conditions to make higher concentrations of these particles.

Key words: particulate matter, NOM-025-SSA1-1993, total suspended particles.

Evaluation of the implementation of a biological filter with *Eichhornia crassipes* in Reservoir Porce II Hydroelectric Plant EPM

Tatihana Castro Cardona and Julio César Saldarriaga Molina15

The biofilter is a phytodepurating system by aquatic plants locally known as “buchón de agua” or water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) installed in Empresas Públicas de Medellín (EPM) Reservoir Porce II. The filter goal is to improve the surface water quality, controlling the aquatic plants invasion issue and reducing the operational costs, while keeping an environmental-friendly treatment. It has been found that the total nitrogen and total phosphorus removed reached in some efficiencies campaigns were close to 40%. The results did not show a significant ($p < 0.05$) pH variation, dissolved oxygen or conductivity along the different checked points or any of the depths studied for each campaigns. It can be concluded that the

system's pollutants removal efficiency depends on the covered area, the harvest and the place where these are located.

Key words: water quality, phytodepuration, water hyacinth, *Eichhornia crassipes*, total nitrogen, total phosphorus.

Degradation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons by native bacteria of contaminated soil

Estefanía Mireles Morales, Evangelina Camacho Frías, and Josefina Barrera Cortés25

The polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) are hydrocarbons composed of two or more benzene rings and which have been reported by the Environmental Protection Agency (EPA) as highly toxic and carcinogenic, so their disposal is of great interest worldwide. For PAH disposal, bioremediation technologies had been applied because they are being environmentally friendly and of low energy consumption. The aim of this study was the evaluation of the capacity of native bacterial strains, isolated from soils highly polluted with recalcitrant hydrocarbons (PAH-HW), to remove PAH of high molecular weight (HW). Six strains were isolated that allowed remove PAH-HW in percentages exceeding 90%. These percentages of PAH removal remained the same when cultures were added with or without low molecular weight hydrocarbons, results that suggest that studied strains could be used to remove PAH as sole carbon source.

Key words: bioremediation, polycyclic aromatic hydrocarbons, hydrocarbonoclastic bacteria.

Quality of water for aquaculture use at Laguna de Tres Palos from Acapulco, Gro.

S. S. García, B. G. Toache, T. V. del C. López, J. I. Benítez V., A. A. Juárez, and G. M. Rivas33

The quality of water for the use of aquaculture in areas of Laguna de Tres Palos allows getting to know the level of pollution. With this purpose four periods were established in: San Pedro las Playas, Varadero de Tres Palos, Plan de los Amates, and Barra Vieja. They were made from July to November, 2012. The measurements made in water were: temperature, salinity, dissolved oxygen, alkalinity, hardness, ammonium, nitrates, and nitrites, and they oscillated between 28.5 to 33.5 °C; 0.0 to 7.5‰; 2.0 to 14.95 mg/l; 95 to 270 mg/l; 24 to 95 mg/l; 0.150 to 0.980 mg/l; 0.0 to 1.480 mg/l; and 0.018 to 0.138 mg/l. They did not differ significantly that could affect the quality of water for the use of aquaculture. The imbalances that might present may occur due to the concentration of some parameters; that might be because of specific situations like high concentration of organic matter dragged by the rain, ran-off, or a high density of fish in fish pens during any moment.

Key words: quality of water, pollution, aquaculture use.

Use of signage for environmental education at “Laguna de Zapotlán” wetland

J. Guadalupe Michel Parra, Manuel Guzmán Arroyo, Héctor Cruz Michel Parra, Tomás Orendáin Verduzco, José Luis Cárdenas Ramos, José Raúl Montes de Oca Padilla, and Ana Lizeth Íñiguez Chávez.....47

Wetlands are ecosystems that have international political of protection and conservation that explore their natural resources with sustainability criteria and the right to rest, besides the recreation of a sensitized society and oriented to their natural resources conservation. *General objective:* The use of signage to protect, conserve, and sustainably manage the ecosystem. *Methodology:* The study is applied in “Laguna de Zapotlán”, located in the state of Jalisco; coordinates: 19°27’13” North latitude and 103°27’53” West longitude; using descriptive, transversal, and inter-disciplinary analysis of the PCYM of the wetland. *Results and discussions:* The “Laguna de Zapotlán” is recognized for their aesthetic value and ecotourism landscape for education and environmental awareness. There were eight trails that are part of the eco-theme park into the wetland. *Conclusions:* The “Laguna de Zapotlán”, Ramsar site, is suitable for environmental education and interpretation, and its accurate and timely information is subject to signage rules to be interpreted by tour guides and visitors.

Key words: education, signage, Laguna de Zapotlán.

Removal of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons by bacteria associated to humic substances

Guillermo Onofre Dolores, Estefanía Mireles-Morales, José L. Morales-Romero, Evangelina Camacho Frías, and Josefina Barrera-Cortés63

In bioremediation processes, the microorganisms are considered the catalysts because they are involved in the transformation process of pollutants, as the polycyclic aromatic hydrocarbons (HPA) are. Due to the particular characteristics of microorganisms, the discovery of new species and their characterization is of great interest in order to implement the bioremediation processes efficiently. The aim of this study was the isolation and evaluation of the capacity to remove HPA of bacteria associated to the humic substances (HS) collected from the state of San Luis Potosí, Mexico. Of 18 isolated bacteria, most of them gram (-), 15 removed the HPA at percentages above 50%. It is assumed that the inoculation in polluted soils of the isolated bacteria could improve the removal of HPA contained in soils highly impacted with such contaminants.

Key words: bioremediation, polycyclic aromatic hydrocarbons, native strains, humic substances.

Proposal of artificial neural network to forecast air quality based on PM_{10}

*Jesús M. Carrera-Velueta, Elizabeth Magaña-Villegas, Sergio Ramos-Herrera,
José R. Hernández-Barajas, José R. Laines-Canepa, and Raúl G. Bautista-Margulis*.....71

The Artificial Neural Network model (ANN) that is proposed was designed to work through a process of classification, grouping and association patterns (Claso) based on the formation of clusters in real time for forecasting environmental variables. The ANN learns to classify patterns from a historical database and makes this process supervised using as criteria the distances between them. While learning is done the nodes that form the hidden layer are created and its weight vector is updated. Subsequently, the model is updated in a non-supervised, grouping new patterns. Finally, the prediction is done by presenting a pattern with current weather data for the prediction to 24 hours. This process is performed by identifying the two prototypes closest to pattern, and assigned the class established by the processes described above.

Key words: Artificial Neural Network, prediction, Claso, PM_{10} .

Barra Vieja community's perception on the pollution at Laguna de Tres Palos in Guerrero

V. López, G. Toache, J. López, S. García, J. I. Benítez, A. Juárez, and M. Rivas79

The aim of this work is to approach the problem of contamination at Laguna de Tres Palos in the municipality of Acapulco, Guerrero, considering the people's perceptive vision of the community of Barra Vieja, which is located near the water body. The methodology used was qualitative and quantitative carrying out a 46 questions survey to a sample of 93 people; in which the following aspects were included: general information, socioeconomic data, consumption habits, pollution perception, sociocultural habits related to the lagoon, and public health aspects. It was confirmed that the attitudes of the inhabitants surveyed towards the contamination of the lagoon are utilitarian; this means that there is little awareness towards the problem, even though the deterioration of their natural resources. Furthermore, there is a high conformism and poor creativity from the population to generate alternative solutions.

Key words: environmental perception, pollution, environment.



Artículo de investigación

Material particulado dispersado al aire en áreas sin asfalto en Ciudad Juárez

Joel Adrián Hernández Escamilla,¹ Juan Pedro Flores Margez,^{1*} Maribel Flores Ramírez,¹
Nadia Rodríguez Mendoza,¹ Marcos Delgado Ríos,¹ Manoj K. Shukla² y Dave DuBois²

RESUMEN

El material particulado (MP) presenta diferentes tamaños, dentro de los cuales se encuentran $2.5 \mu\text{m}$ y las partículas suspendidas totales (PST). El MP está relacionado con diversos daños al sistema cardiorrespiratorio. El estudio se realizó en cuatro puntos estratégicos de Ciudad Juárez, Chihuahua, con una cobertura de norte a sureste. Los sitios de investigación se caracterizaron por incluir extensas áreas de calles sin pavimentar. Los valores máximos en el monitoreo durante 2012 para $\text{MP}_{2.5}$ detectados con el DustTrak® fueron: 2.3 mg/m^3 en abril, 1.58 mg/m^3 en mayo, 4.61 mg/m^3 en junio y 0.448 mg/m^3 en julio; mientras que con la técnica de rotores, el valor de PST fue de 1.29 mg/m^3 en el monitoreo de marzo. Los valores máximos de $\text{MP}_{2.5}$ del monitoreo durante 2013 fueron: 0.1 mg/m^3 para los días 20 y 24 de febrero, y 0.158 y 0.178 mg/m^3 para los días 4 y 8 de marzo, respectivamente; mientras que para PST fueron: 10.64 mg/m^3 para el 29 de enero, y 0.48 y 0.41 mg/m^3 para los días 20 y 24 de febrero, respectivamente; mientras que los días 4, 22 y 24 de marzo presentaron valores de 1.33 mg/m^3 , 0.27 mg/m^3 y $.052 \text{ mg/m}^3$, respectivamente. Las concentraciones de $\text{MP}_{2.5}$ en zonas del sureste de Ciudad Juárez que carecen de asfalto sobrepasaron los límites de la NOM-025-SSA1-1993, que es de 0.065 mg/m^3 , y para partículas sólidas totales (PST) un valor de la concentración máxima permitida de 0.21 mg/m^3 , excediendo durante las fechas cuando se presentaron las tolvaneras. Por ello es importante evaluar la calidad del aire en relación a $\text{MP}_{2.5}$ y PST, debido a su impacto adverso hacia la salud y en zonas áridas, por las condiciones que hacen posible mayores concentraciones de dichas partículas.

Palabras clave: material particulado, NOM-025-SSA1-1993, partículas suspendidas totales.

1 Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua, México, Anillo Envoltante del Pronaf y Estocolmo s/n, Col. Progresista, C.P. 32310.

* Autor para correspondencia; e-mail: juflores@uacj.mx.

2 New Mexico State University, Department of Agronomy and Horticulture, Plant & Environmental Sciences, Las Cruces, NM, USA.

INTRODUCCIÓN

Las actividades antropogénicas y los sucesos naturales, tales como los incendios forestales, emisiones volcánicas, tolvaneras, entre otros, presentan la producción de MP en su desarrollo (Alemany, 2004). Las partículas que causan mayor efecto nocivo en la salud son las de tamaño $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2.5}$) (Lauer, 2009). Al presentar un tamaño reducido tienen la posibilidad de penetrar directamente a la zona torácica, teniendo estas partículas propiedades que las hacen tóxicas, cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas (Pope, Thun y Namboodiri, 1995). El MP presenta tamaños pequeños, teniendo la posibilidad de que exista la dispersión del mismo al aire por diferentes factores como el viento y los vehículos, dentro de los cuales se determina como una variable importante la falta de asfalto (Flores y Shukla, 2012; Flores *et al.*, 2011; Rivera Rivera *et al.*, 2009). Ciudad Juárez tiene la problemática de que carece de pavimentación en más de 10 millones de metros cuadrados, que representa cerca del 40%, lo que hace importante el monitoreo de dichas zonas con relación a las emisiones del MP (Flores y Shukla, 2012). El sistema de rotores y cintas adhesivas para la determinación de MP es, de cierta manera, innovador por su bajo costo y facilidad de uso, aunque tiene desventajas como posibles pérdidas de partículas durante el manipuleo de las mediciones en campo, pero en conjunto con el monitor automático de partículas DustTrak™ II y DRX aerosol monitor modelos 8530 y 8533, se puede realizar una estimación más completa de la dispersión al aire de $\text{MP}_{2.5}$ y de la concentración de PST (Flores *et al.*, 2011; Williams, Shukla y Ross, 2008). El objetivo del estudio fue estimar la dispersión de MP con dos técnicas en tolvaneras intensas y comparar las concentraciones con lo indicado por la legislación mexicana en calidad del aire.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. La evaluación se realizó en cuatro puntos estratégicos de Ciudad Juárez, Chihuahua

(figura 1), con una cobertura de 4800 m^2 de norte a sureste; los vientos predominantes son del oeste. El sitio 1 se caracterizó por contar con pavimentación, mientras que los sitios 2, 3 y 4 de estudio se distinguieron por incluir extensas áreas de calles sin pavimentar (Rivera Rivera *et al.*, 2010; Flores y Shukla, 2012). El primer sitio se localizó a una latitud de $31^{\circ}39'17'' \text{ N}$ y una longitud de $106^{\circ}21'33'' \text{ O}$ (punto 1), Hermanos Escobar-Plutarco Elías Calles; el segundo sitio, a una latitud de $31^{\circ}37'40'' \text{ N}$ y una longitud de $106^{\circ}20'33'' \text{ O}$ (punto 2), Ramón Rayón-Gómez Morin; el tercer sitio, a una latitud de $31^{\circ}36'1'' \text{ N}$ y una longitud de $106^{\circ}24'29'' \text{ O}$ (punto 3), Blvd. Independencia-Puerto de Palos; y el último sitio se localizó a una latitud de $31^{\circ}41'41'' \text{ N}$ y una longitud de $106^{\circ}24'34'' \text{ O}$ (punto 4), Las Torres-Los Bravos (figura 1, disponible en: <https://maps.google.com/?ll=31.65251,-106.34800&z=10&t=h>, 2012).

Sistema de rotores y cinta adhesiva. Consistió en utilizar una cinta adhesiva de dos caras con un tamaño de 1.5 cm de ancho por 5.5 cm de largo. Posteriormente al corte, se adhirió dicha cinta a un portaobjetos (previamente numerado). Se prosiguió con la obtención y registro de la masa de cada portaobjetos, y se colocaron en una caja, sellándola para evitar contacto alguno con el exterior. En el punto de muestreo, se prosiguió con la colocación del portaobjetos en el rotor, luego se retiró la cubierta de la cinta adherente y se colocó en una bolsa hermética para su posterior determinación gravimétrica. Los rotores se colocaron en torres de base metálica a 1 y 2 m de altura. Después se encendieron por 15 minutos. Al terminar el muestreo, se retiró y se colocó nuevamente en la caja para evitar captación de polvo, y se realizó el análisis gravimétrico. La evaluación con el sistema de rotores y cinta adherente, se realizó en las fechas que se presentaron tolvaneras más intensas en dichos puntos de la ciudad. Los valores presentados son en referencia de las concentraciones de PST (Flores *et al.*, 2011; Williams, Shukla y Ross, 2008).



Figura 1. Localización de los sitios de muestreo: primer punto, Hermanos Escobar-Plutarco Elías Calles; segundo punto, Ramón Rayón-Gómez Morin; tercer punto, Blvd. Independencia-Puerto de Palos; y último punto, Las Torres-Los Bravos. Ciudad Juárez, Chihuahua, en 2012.

Monitor automático de partículas DustTrak™ II y DRX aerosol monitor modelos 8530 y 8533. Este instrumento consiste en un sistema que capta el análisis de las partículas dispersadas al aire en tiempo real, determinando las concentraciones diversas de $MP_{2.5}$ presentes en los diferentes puntos de muestreo. El intervalo de medición utilizado fue de 15 minutos por muestra cuando se empleó el método de cinta adhesiva. El análisis se realizó durante el periodo abril-julio de 2012 y los valores determinados son de $MP_{2.5}$, tomando los máximos y mínimos para cada día como representación de tales concentraciones, como las reportadas por Flores *et al.* (2011).

RESULTADOS

Los valores de PST obtenidos en el muestreo de rotores y cinta adhesiva, se presentan en la figura 2. Los valores mínimos y máximos de concentración de $MP_{2.5}$ determinados con el monitor automático de partículas DustTrak™ II y DRX aerosol monitor modelos 8530 y 8533 en el periodo abril-julio de 2012, se presentan en las figuras 3 y 4, respectiva-

mente. Los valores máximos de MP con la técnica de rotores y cinta adhesiva fue de 1.29 mg/m^3 para el mes de marzo de 2012. Los valores mínimos de las concentraciones de $MP_{2.5}$ detectados en el Dust-Trak, se presentan en la figura 3, teniendo dentro de los mismos los valores más altos de las siguientes concentraciones mínimas: para el día 14 de abril, una concentración de 0.058 mg/m^3 ; para el día 23 de mayo, una concentración de 0.109 mg/m^3 ; para los días 3 y 22 de junio, una concentración de 0.038 mg/m^3 ; y para el día 16 de julio, una concentración de 0.016 mg/m^3 . Los valores máximos de las concentraciones de $MP_{2.5}$ detectados en el DustTrak en 2012, se presentan en la figura 4, teniendo dentro de los mismos los valores más altos de las siguientes concentraciones máximas y que hacen alusión a los días que se presentaron fuertes tolvaneras en esa región: para el día 14 de abril, una concentración de 2.3 mg/m^3 ; para el día 23 de mayo, una concentración de 1.58 mg/m^3 ; para el día 24 de junio, una concentración de 4.61 mg/m^3 ; y para el día 6 de julio, una concentración de 0.448 mg/m^3 .

Para el monitoreo de 2013, los valores máximos de $MP_{2.5}$ se observan en las figura 5 y 6: para los días 20 y 24 de febrero, 0.1 mg/m^3 ; para los días 4 y 8 de marzo, 0.158 y 0.178 mg/m^3 , respectivamente; mientras que para PST (figura 6) fueron: para el 29 de enero, 10.64 mg/m^3 ; para los días 20 y 24 de febrero, 0.48 y 0.41 mg/m^3 , respectivamente; y para los días 4, 22 y 24 de marzo, se presentaron valores de 1.33 mg/m^3 , 0.27 mg/m^3 y $.052 \text{ mg/m}^3$, respectivamente. Se observa que al estar ausente la pavimentación, existen mayores aumentos en las concentraciones de $MP_{2.5}$ y PST, por lo que se obtuvo un rango de valor para la concentración de $MP_{2.5}$ para el sector de Hermanos Escobar-Plutarco Elías Calles (con pavimentación) de $0.02\text{-}0.1 \text{ mg/m}^3$; mientras que para PST un rango de $0.1\text{-}0.21 \text{ mg/m}^3$ referente a su concentración en dicho punto, determinando con estos valores un aumento de la exposición y con ello, una mayor probabilidad de contacto de las personas con dichas concentraciones y un deterioro de la salud de los habitantes de zonas carentes de pavimentación. La guía que la Organización Mundial de la Salud (OMS) presenta en 2008, indica valores determinados de $MP_{2.5}$ dentro de periodos de 24 horas, mayores de 0.024 mg/m^3 , teniendo con esto que para el mes de abril se encuentran concentraciones 100 veces mayores al límite recomendado; para el mes de mayo, aproximadamente 70 veces más; para el mes de junio, 190 veces, aproximadamente; y para el mes de julio, 19 veces más del valor recomendado, aproximadamente.

CONCLUSIONES

Los valores de $MP_{2.5}$ y PST detectados en este estudio, se pueden considerar como indicadores de las condiciones alarmantes de la calidad del aire en Ciudad Juárez, Chih., con énfasis en zonas carentes de pavimentación, debido a que fueron encontradas concentraciones superiores a las que marca la Norma Oficial Mexicana y valores recomendados por la OMS. Los valores de $MP_{2.5}$ sobrepasaron los límites de la NOM-025-SSA1-1993 con 0.065

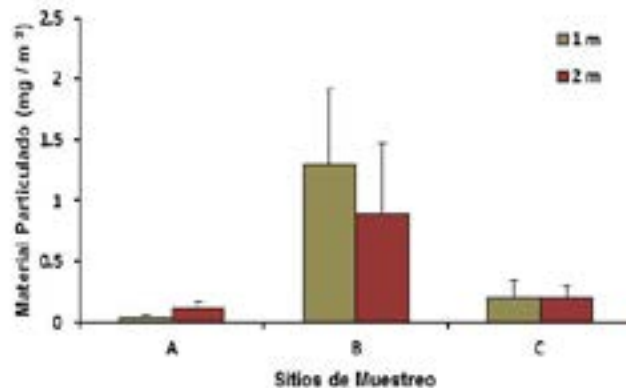


Figura 2. MP medido con la técnica de cinta adhesiva y rotores en marzo de 2012. Solo se expresan los puntos 2, 3 y 4, debido a que el punto 1 fue añadido posteriormente.

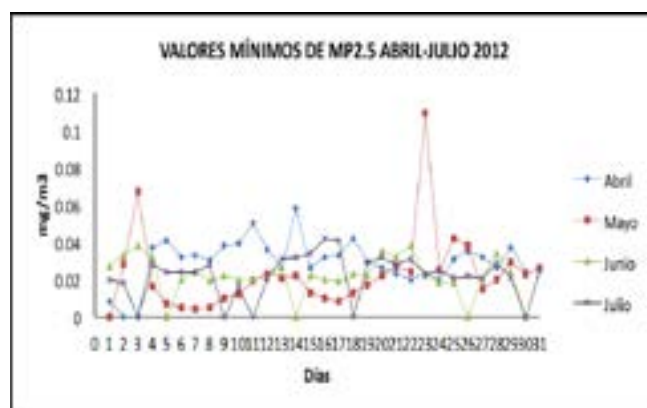


Figura 3. Valores mínimos de $MP_{2.5}$ del periodo abril-julio de 2012 en zonas del sureste de Ciudad Juárez, Chihuahua, medidos con el aparato DustTrak™ II y DRX aerosol monitor modelos 8530 y 8533.

mg/m^3 ; y para PST, un valor de la concentración máximo permitido de 0.21 mg/m^3 . Esto determina la necesidad para dichos sectores de proseguir con los monitoreos; asimismo, que se realicen las pavimentaciones necesarias y una difusión de la información obtenida, para concientizar a la población y autoridades de gobierno ante su exposición en los días que se presentan las tolvaneras características de esta región.

AGRADECIMIENTOS

A Southwest Consortium for Environmental Research and Policy (SCERP) en Las Cruces, New Mexico, por el apoyo financiero a este proyecto,

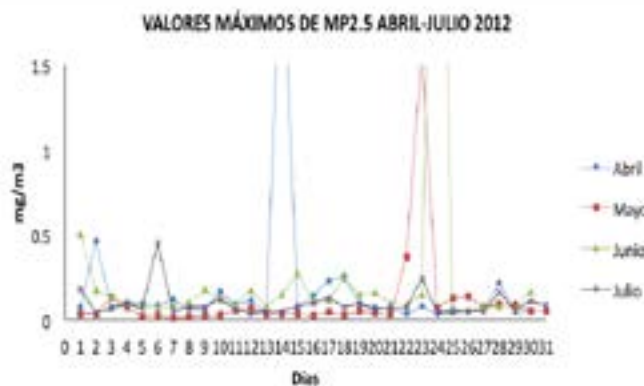


Figura 4. Valores máximos de $MP_{2.5}$ del periodo abril-julio de 2012 en zonas del sureste de Ciudad Juárez, Chihuahua, medidos con el aparato DustTrak™ II y DRX aerosol monitor modelos 8530 y 8533.



Figura 5. Valores máximos y promedios de $MP_{2.5}$ del periodo febrero-marzo de 2013 en zonas del sureste de Ciudad Juárez, Chihuahua, medidos con el aparato DustTrak™ II y DRX aerosol monitor modelos 8530 y 8533.

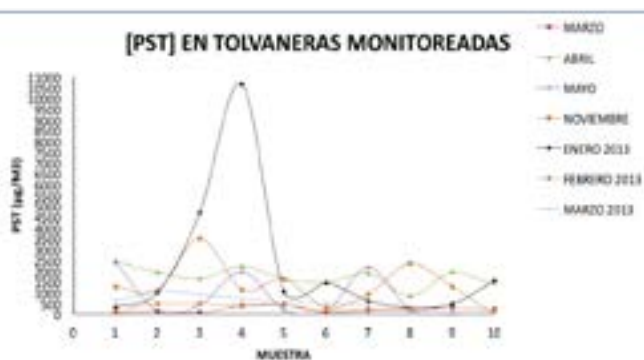


Figura 6. Valores de concentración de PST determinados en las tolvaneras del periodo marzo de 2012-marzo de 2013 en zonas del sureste de Ciudad Juárez, Chihuahua, medidos con rotomotores y cinta adhesiva.

así como a New Mexico State University (NMSU), Department of Plant and Environmental Sciences, por los equipos científicos facilitados para la investigación.

REFERENCIAS

- Alemany, V. E. (2004). *Dispersión de contaminantes en la atmósfera*. Valencia, España: Alfaomega.
- Flores M., J. P. y M. K. Shukla (2012). "Particulate Matter Dispersed by Vehicles on Unpaved Roads", 1-23. En: Henrik Knudsen and Niels Rasmussen (eds.). *Particulate Matter: Sources, Emission Rates and Health Effects*. Nova Science Publishers, Inc.
- Flores M., J. P., M. K. Shukla, J. Wang y A. B. Hernández (2011). "Particulate Matter Dispersed by Vehicles Running on Agricultural Unpaved Roads". *Terra Latinoamericana*, 29, 23-34.
- Lauer, F. (2009). "Temporal-spatial Analysis of U.S.-Mexico Border Environmental Fine and Coarse MP Air Sample Extract Activity in Human Bronchial Epithelial Cells". *Toxicology and Applied Pharmacology*, 1-10.
- NOM-025-SSA1-1993 (2005). "Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales (PST), partículas menores de 10 micrómetros (MP_{10}) y partículas menores de 2.5 micrómetros ($MP_{2.5}$) de la calidad del aire ambiente". *Criterios para evaluar la calidad del aire*. México: Secretaría de Salud.
- Pope, C. A., M. J. Thun y M. M. Namboodiri (1995). "Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults". *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 151(3), 669-74.

- Rivera Rivera, N. I., K. A. Gebhart, J. L. Hand, M. P. Bleiweiss y R. M. Fitzgerald (2009). "Wind Modeling of Chihuahuan Desert Dust Outbreaks". *Atmospheric Environment*, 43, 347-354.
- Rivera Rivera, N. I., T. E. Gill, M. P. Bleiweiss, J. L. Hand y N. R. Rivera (2010). "Source characteristics of Hazardous Chihuahuan Desert Dust Outbreaks". *Atmospheric Environment*, 1-12.
- Williams, D. S., M. K. Shukla y J. Ross (2008). "Particulate Matter Emission by a Vehicle Running on Unpaved Road". *Atmospheric Environment*, 42, 3899-3905.

Artículo de investigación

Evaluación de la implementación de un filtro biológico con *Eichhornia crassipes* en el embalse de la Central Hidroeléctrica Porce II de EPM

Tatihana Castro Cardona^{1*} y Julio César Saldarriaga Molina²

RESUMEN

El biofiltro es un sistema de fitodepuración por plantas acuáticas, conocidas como “buchón de agua” o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), ubicado en el embalse de la Central Hidroeléctrica Porce II de Empresas Públicas de Medellín (EPM), cuyo principio es el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico a nivel superficial. Adicionalmente, es una alternativa de control a la problemática de invasión de las plantas acuáticas, que disminuye costos de operación y contribuye ambientalmente a su adecuado manejo. En cuanto a remoción, se encontró que el nitrógeno total y fósforo total alcanzaron en algunas campañas eficiencias cercanas al 40%. Durante el seguimiento al sistema no se registraron variaciones significativas ($p < 0.05$) de pH, oxígeno disuelto y conductividad en los diferentes puntos evaluados, ni en las profundidades estudiadas para cada una de las campañas efectuadas. Se puede inferir que la eficiencia de remoción de contaminantes en el sistema está en función del área ocupada, la cosecha y el sitio de ubicación.

Palabras clave: calidad del agua, fitodepuración, buchón de agua, *Eichhornia crassipes*, nitrógeno total, fósforo total.

1 Ingeniera Sanitaria, Magister en Ingeniería, Empresas Públicas de Medellín (EPM), Universidad de Antioquia, Colombia; 42 125, fax 574 380 6747.

* Autora para correspondencia; e-mail: tatihana.castro@epm.com.co.

2 Ph.D. en Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia.

INTRODUCCIÓN

El vertimiento no controlado de contaminantes en los cuerpos de agua superficiales, incluidos los embalses, es una problemática, tanto ambiental como de salud pública, que mundialmente reconoce su control y tratamiento.

La remoción de contaminantes se fundamenta en el impacto negativo que éstos provocan a los cuerpos de agua receptores y al riesgo que representan sobre las comunidades. Los elevados contenidos de nutrientes son precursores de la eutrofización, y los embalses no son ajenos a este problema. EPM, empresa colombiana de servicios públicos, enfrenta en sus diez embalses de generación de energía y potabilización, problemas de eutrofización, cuyos costos anuales de control y extracción mecánica de plantas acuáticas invasoras ascienden aproximadamente a \$350 000 dólares anuales (Información EPM).

Es de resaltar que esta problemática varía según los tributarios y las descargas que confluyen a los cuerpos de agua, tal como es el caso del embalse de la Central Hidroeléctrica Porce II de EPM, cuyo principal tributario es el río Porce, al que llegan las aguas residuales con o sin tratamiento de toda el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medellín - Antioquia), que según el Departamento Administrativo de Estadística (Dane) cuenta con una población de 3 312 165 habitantes.

Estas descargas favorecen la eutrofización aguas abajo, y como consecuencia se da la disminución de la concentración de oxígeno disuelto y la afectación de los ecosistemas acuáticos (Ramahlo, 1991). A este fenómeno se suma la invasión de la planta acuática conocida como “buchón de agua” (*Eichhornia crassipes*), cuyo crecimiento se favorece gracias a la alta concentración y disponibilidad de nutrientes, y es catalogada entre las más invasivas en el mundo (Instituto von Humboldt, 2010).

En ambientes eutróficos, el “buchón de agua” puede proliferar de forma extrema, al punto de ser considerada una plaga (Lowe, S. *et al.*, 2004), causando problemas ambientales y operacionales,

tales como: obstrucción en las vías fluviales, dificultando el transporte acuático y la navegación; taponamiento en los sistemas de suministro y riego de agua, o en los sistemas de generación de energía (Téllez *et al.*, 2008); dificultando la pesca y, al mismo tiempo, infestando la superficie de agua, lo que disminuye la penetración de luz y los niveles de oxígeno disuelto; reduciendo la biodiversidad y degradando los ecosistemas de agua, es decir, su sombra y las aglomeraciones que forma sobre las plantas acuáticas nativas reducen dramáticamente la diversidad biológica en ecosistemas acuáticos. De igual forma, la proliferación de esta especie puede convertirse en un riesgo para la salud pública debido a la proliferación de vectores (De Casabianca y Laugier, 1995; Schneider *et al.*, 1995; Ogueno, Onyango y Otieno, 2004; Ming, X. *et al.*, 2007; Saraswat y Rai, 2010; Li, D. *et al.*, 2012). Asimismo, genera altos costos de manejo, que han significado anualmente a Estados Unidos \$137 000 millones de dólares [Instituto von Humboldt, 2010].

Sin embargo, la *Eichhornia crassipes* favorece la depuración, absorción y asimilación en su estructura de nutrientes, metales, agroquímicos y sólidos en suspensión, mejorando así la calidad de los cuerpos de agua y representando grandes ventajas frente a otros tipos de tratamiento de agua. Entre las ventajas está el bajo costo de inversión, la operación y el mantenimiento, a la vez que soporta variaciones de caudal, que la convierten en una alternativa amigable con el ambiente, puesto que se basa en la biodegradabilidad y la minimización de la contaminación secundaria (Alvarado, S. *et al.*, 2008; Thieman y Palladino, 2010; Saraswat y Rai, 2010; Li, D. *et al.*, 2012].

Desde su operación, el embalse Porce II ha presentado invasión de plantas acuáticas y eutrofización, consecuencia de la alta concentración de nutrientes presentes en las aguas que recibe de su tributario principal (río Medellín o río Porce), además de otros ríos de menor caudal pero con aporte de contaminantes. Para este embalse en particular,

se tuvo en el año 2010 la mayor invasión de plantas acuáticas de *Eichhornia crassipes*, cubriendo 390 Ha, lo que equivale al 36% del espejo de agua. Esta condición hace que el embalse Porce II, sea piloto en la evaluación de la aplicación de un filtro biológico (biofiltro) para fitodepuración con “buchón de agua”, puesto que el problema fue controlado a corto plazo por medio de extracción mecánica. Sin embargo, se infiere por parte de EPM, que mientras no se controlen las descargas de aguas residuales sin tratamiento, estas plantas seguirán llegando e invadiendo el embalse.

METODOLOGÍA

La Central Hidroeléctrica de Porce II de EPM está localizada al noreste del Departamento de Antioquia, Colombia, entre los municipios de Yolombó, Amalfi y Gómez Plata, a una distancia de 120 kilómetros del municipio de Medellín, con una capacidad total de almacenamiento de 231 mm³, un área total de 890 hectáreas, una cota máxima de 924.5 msnm y un caudal promedio a la entrada del embalse de 118 m³/s. Su capacidad efectiva neta es de 405 mw. En la figura 1 se observa la ubicación del embalse Porce II.



Figura 1. Ubicación del embalse Porce II.
Fuente: Imagen construcción propia

Durante la investigación se revisó el levantamiento batimétrico del embalse realizado por EPM

en el año 2006 y, adicionalmente, se analizó la información reciente y proveniente de los proyectos gestionados y realizados por la entidad con universidades locales (Universidad de Antioquia y Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín). Dicha información permitió identificar las plumas de corriente de agua en el embalse y la zona de ubicación estratégica del sitio de depósito de “buchón” cosechado. Este sitio de almacenamiento permite la operación del sistema con mayor eficiencia y menores costos.

A raíz de una nueva batimetría se corroboró que por sus características es el lugar más adecuado para la implementación del sistema biológico; es así como se definió la zona más adecuada para la ubicación del biofiltro: el sector “La Frijolera”.

Asimismo, antes de instalar el biofiltro fue necesario ubicar barreras y anclajes que sostengan el “buchón de agua” y, de paso, impidan su invasión en áreas no estimadas. En la foto 1 se ilustra el tipo de barrera empleada y el sistema instalado.



Foto 1. Barrera y biofiltro, vista cerca.
Fuente: foto EPM.

Para el seguimiento del biofiltro, se definieron siete puntos de muestreo: tres sitios en la barrera antes del biofiltro, uno en el centro de éste y tres después del mismo. En cada punto se tomaron muestras a dos profundidades: superficial, a 10 cm de profundidad y a la profundidad Secchi. Ambas fueron determinadas en función de la longitud

máxima de la raíz de la planta, que según estudios (Arteaga, J., 2009; UC-EPM, 2003) adopta el “bunchón de agua” en el embalse Porce II, y a la eutrofización que influye, entre otros, en la transparencia del espejo de agua.

Las variables de estudio para el control de las plantas fueron el tiempo de cosecha y el crecimiento de las plantas; asimismo, para la calidad del agua se determinaron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), formas de sólidos (totales, disueltos y suspendidos), nitrógeno total (NT), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), y fósforo total (PT). Igualmente, variables de control como: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica. Todos los análisis de las variables físico-químicas fueron realizados en el laboratorio de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (CORANTIOQUIA), acreditado por la autoridad colombiana competente.

El periodo de experimentación durante la operación del biofiltro, incluyó los meses de julio de 2012 a febrero de 2013, con un total de 10 campañas de muestreo. En la figura 2 se presenta la ubicación del biofiltro y de los puntos de muestreo, así como el flujo de la corriente de agua predominante.



Figura 2. Puntos de muestreo en el biofiltro instalado en el embalse Porce II.
Fuente: construcción propia.

En la foto 2 se observa la máquina conocida como cosechadora, empleada exclusivamente para la extracción de plantas acuáticas. La eficiencia de la cosecha depende de la distancia al sitio de disposición (almacenamiento), del correcto funcionamiento de la máquina y de la operación del embalse.



Foto 2. Máquina que realiza la cosecha.
Fuente: foto EPM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del biofiltro se dio el 6 de julio de 2012 con un área inicial de 0.3 Ha. Con la cosecha se mantuvo en 5 Ha, aproximadamente, durante el seguimiento.

En la foto 3 se muestra la panorámica del biofiltro instalado en el embalse Porce II de la Central Hidroeléctrica de EPM.

Las campañas de seguimiento y los análisis de agua del sistema, se hicieron desde julio de 2012 hasta febrero de 2013. Adicionalmente, se resalta que las muestras se colectaron en periodos estacionales variados, es decir, verano, invierno, transiciones verano-invierno y viceversa, por lo cual no se evidenció una estacionalidad marcada durante los ocho meses, correspondiente a las 10 campañas de muestreo.

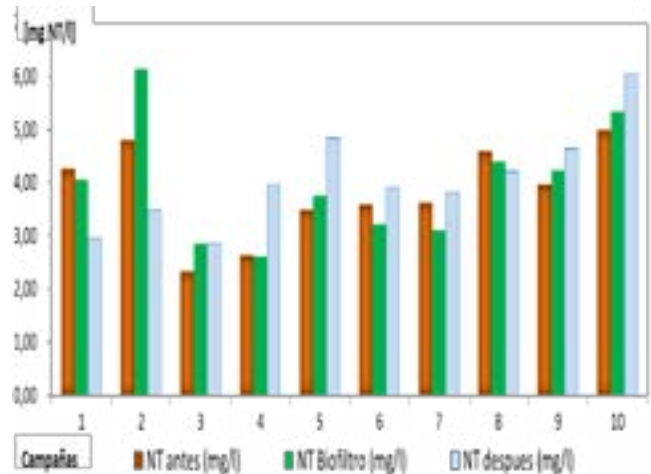
La cosecha del material vegetal se hizo de forma progresiva inicialmente, es decir, se hicieron ensayos para determinar la densidad óptima, donde



Foto 3. Vista panorámica del biofiltro embalse Porce II de EPM. Fuente: foto EPM.

la planta captura la mayor cantidad de nutrientes, y se estimó el tiempo de cosecha cada dos meses.

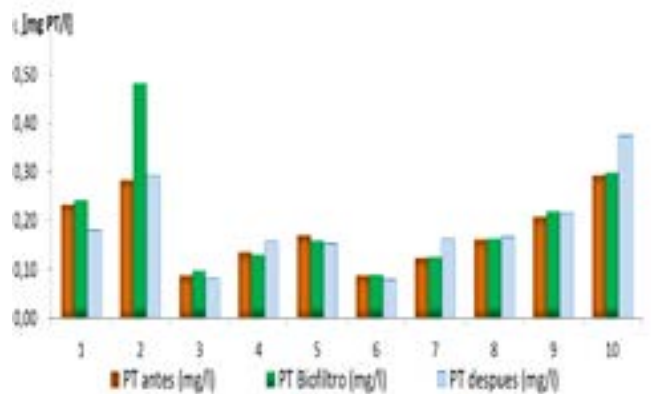
La aplicación del biofiltro permitió, entre otros, establecer la eliminación de los nutrientes de interés presentes, entre los que están el nitrógeno (N) y el fósforo (P). En este sentido, se encontraron eliminaciones de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) cercanas al 40%, en algunas de las campañas. Es de aclarar que dicha eliminación se obtiene para valores máximos registrados durante las diferentes campañas, comparadas entre los puntos anteriores, en el biofiltro, y después, con correlaciones de 0.88 para NT y 0.9 para PT. Sin embargo, los valores de estos nutrientes a la salida del biofiltro en varios eventos superan las condiciones anteriores, posiblemente asociado a variables hidráulicas y operacionales, no evaluadas en la presente investigación. En las gráficas 1 y 2 se presentan los parámetros de NT y PT durante todo el periodo experimental. Se presenta el comportamiento de las concentraciones medianas por punto a las profundidades tomadas (0.1 m y disco Secchi). Asimismo, esta información en las gráficas se representa según el sector donde se tomó la muestra, es decir, antes del ingreso al sistema, en el interior del biofiltro y después o a la salida.



Gráfica 1. Concentración de NT.

En la gráfica 2 se expresa lo equivalente para PT, donde también se observa una tendencia a aumentar las concentraciones en las últimas campañas; esto puede deberse a que coincidió con época vacacional (diciembre y enero), por lo cual no se realizó la cosecha del sistema oportunamente, y estos resultados se contrastan con la gráfica 3 de tasas de crecimiento.

A diferencia de los resultados de NT, donde las muestras capturadas en la zona del biofiltro siempre presentaron menores concentraciones de NT, este comportamiento no fue tan claro para el PT.



Gráfica 2. Concentración de PT mg/l.

Para el caso de la profundidad Secchi, esta varió desde 0.25 m en el primero y tercer muestreos, posiblemente debido a la presencia de algas, y el resto de las campañas la transparencia llegó a un máximo de 1.2 m, donde el promedio fue de 0.9 m, siendo entonces ésta la profundidad a la cual se tomó la segunda muestra por punto.

Por otro lado, las muestras captadas durante el seguimiento de las actividades de monitoreo, no registraron variaciones significativas con un $p < 0.05$, según coeficiente de Pearson en cuanto a variables de control como: pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica.

En particular, la variable conductividad eléctrica registró poca variación entre muestreos, oscilando desde 148 s/cm hasta 213 s/cm, lo que permite predecir que el flujo en la corriente de agua, se comporta igual a la profundidad de la toma de la muestra, lo cual podría garantizar que las características del agua en el sistema antes y después son semejantes, y por esto pueden compararse. Asimismo, este parámetro presentó muy buena correlación entre campaña y campaña consigo mismo con coeficiente cercano a 1.

De igual forma, la temperatura del agua osciló en promedio en todas las campañas en 25.6 °C, mientras que el pH presentó algunas variaciones en las diferentes jornadas de monitoreo, es decir, osciló desde 6.23 unidades de pH hasta 8.86 unidades. Pero se presentó mejor correlación entre los datos del pH antes y el biofiltro con coeficiente de 0.9; mientras que para el pH después del sistema, la correlación fue tan solo de 0.3. Para el oxígeno disuelto se tuvieron valores desde 3.1 mg/l hasta 11.0 mg/l, pero en diferentes campañas, lo cual podría atribuirse a condiciones propias de la corriente de agua, a la acción del viento presente en la zona del biofiltro y a que es una variable muy sensible en la lectura. Los sólidos suspendidos totales alcanzaron valores de remoción de hasta 79.7% en la zona del biofiltro, lo cual evidencia la capacidad del “buchón de agua” para retener sólidos en sus raíces. Por otro lado, la DBO y DQO no mostraron remociones signi-

ficativas, debido a que sus valores son relativamente bajos, con máximos de 14.27 mg/l para DBO y de 55.68 mg/l para DQO, lo que dificulta la eliminación biológica y su correspondiente verificación a nivel experimental, principalmente para DBO.

Durante el seguimiento al sistema y tal como se aprecia en la foto 4, se observaron plantas con raíces muy cortas y de color morado, lo que se asocia con ecosistemas ricos en disponibilidad de nutrientes (UC-EPM, 2003), tal como es el caso del embalse Porce II.

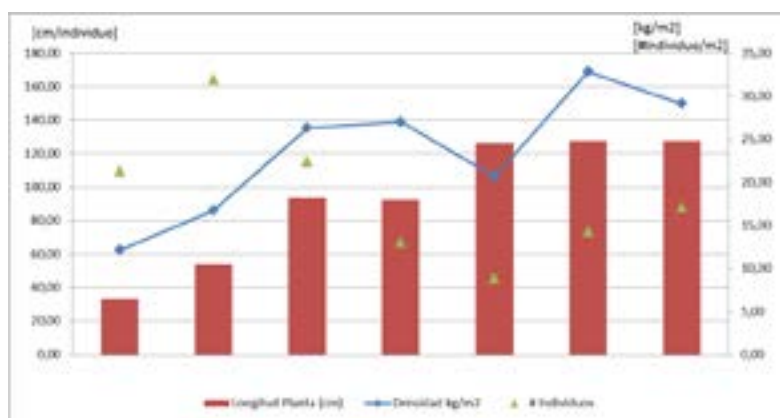


Foto 4. “Buchón de agua” en el embalse Porce II.
Fuente: foto EPM.

Paralelamente, se hizo seguimiento al crecimiento del “buchón de agua”. En este sentido, en la gráfica 3 se registran los datos muestreados aleatoriamente, el número de individuos por m² se representa en triángulos, mientras que las barras son la longitud de la planta y la línea continua muestra

la densidad en kg/m². Al iniciar la implementación del sistema el crecimiento de la planta, reflejado en la longitud de la misma, es inversamente proporcional al número de individuos. Es decir, cuando la planta está en sus fases tempranas el número de individuos es menor, así como la densidad del “buchón” por m² (UC-EPM, 2003). Se estimó la capacidad límite de absorción promedio de nutrientes en 16 kg de “buchón de agua” por m², y la longitud de la planta máxima alcanzó una altura de 126.6 cm.

Sin embargo, y tal como se observa en la gráfica 3, el sistema no conservó la densidad estimada en las primeras campañas, lo cual se debe a que el crecimiento de las plantas y la falta de cosecha pudieron estar fuera de control, lo que hizo que la densidad aumentara y no se obtuvieran mejores remociones de nutrientes.



Gráfica 3. Seguimiento al crecimiento del “buchón de agua” en el biofiltro.

Lo anterior evidenció lo que otros estudios realizados por EPM han reportado del “buchón de agua” en el embalse Porce II, donde las plantas en etapa madura que ocupan la misma área, quedan confinadas, y se conoce que en situaciones de estrés la planta reduce su crecimiento y su desarrollo horizontal, lo cual la obliga a crecer de forma vertical y aumentar su longitud (UCO-EPM, 2003; Arteaga, J., 2009).

CONCLUSIONES

Se logra verificar lo aportado en algunos trabajos preliminares, en los que se demuestra también que el “buchón de agua” favorece la remoción de contaminantes, en particular para NT y PT (eliminaciones cercanas a 70% y 30%, respectivamente). Estos contaminantes son incorporados en raíces y contribuyen al crecimiento de las plantas (Xi, C. *et al.*, 2010; Li, D. *et al.*, 2012; Balasubramaniana, D. *et al.*, 2012), situación que es común para los procesos biológicos de fitodepuración.

Adicionalmente, se logró mejorar la calidad del agua a nivel superficial en el sector del embalse Porce II conocido como “La Frijolera”. Asimismo, se corrobora que el biofiltro es una experiencia novedosa que garantiza la eliminación de contaminantes y, por ende, la recuperación de la calidad hídrica a nivel superficial en este tipo de cuerpos de agua.

Se validó la importancia de realizar la cosecha del material vegetal oportunamente, puesto que la planta tiene una capacidad límite de absorción de nutrientes, tales como: N y P, que en el estudio ascendió a una densidad de 16 kg de “buchón” por m².

Con respecto a la toma de la muestra, al ser la longitud de la raíz inferior a 30 cm, se concluye que en futuras investigaciones, para el embalse Porce II, se podrán tomar muestras a profundidades máximas de 50 cm, con lo cual podrían obtenerse resultados con mejores remociones, es decir, un sistema biológico más eficiente en la eliminación de contaminantes (N y P).

Sin embargo, es necesario ajustar factores operacionales que permitan aumentar las áreas de confinamiento para favorecer mayores remociones y la eficiencia del sistema.

Asimismo, es recomendable implementar en el embalse un sistema para la medición o estimación

de caudales, situación que hoy no es posible, y que, por ende, permitiría ajustar los resultados obtenidos en este estudio.

Por último, es importante establecer que existe una clara necesidad de continuar con este tipo de estudios en zonas de interés ambiental en las que el “buchón de agua” es una problemática, pero es posible cambiar el paradigma, es decir, ser visto como una oportunidad en procesos de tratamiento y mejoramiento de las condiciones ambientales e hídricas.

Actualmente, EPM está replicando esta experiencia a otros embalses donde existe la problemática de invasión por “buchón de agua” y eutrofización, con lo cual se pretende mejorar la calidad del agua a nivel superficial.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Empresas Públicas de Medellín (EPM) por apoyar el proyecto con recursos humanos, económicos y logísticos, y por el interés en generar conocimientos y procurar el mejoramiento de la calidad del agua de sus embalses de generación de energía y potabilización. Asimismo, a la Universidad de Antioquia y al Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (GIGA), por su apoyo y asesoría a lo largo de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, S., M. Guédez, L.-M. Marcó P., N. Graterol, A. Anzalone, J. Arroyo C. y Z. Gyula (2008). “Arsenic Removal from Waters by Bioremediation with the Aquatic Plants Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Lesser Duckweed (*Lemna minor*)”. *Bioresource Technology*, 99, 8436-8440.
- Arteaga, J. (2009). *Pautas iniciales para diseñar un biofiltro con Eichhornia crassipes en el embalse Porce II*. Empresas Públicas de Medellín (EPM).
- Balasubramaniana, D., K. Arunachalama, A. K. Dasb y A. Arunachalama (2012). “Decomposition and Nutrient Release of *Eichhornia crassipes* (Mart.) solms. Under Different Trophic Conditions in Wetlands of Eastern Himalayan Foothills”. *Ecological Engineering*, 44, 111-122.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2010). *Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia*. Bogotá, D. C.
- Li, D., G. Mingjian, Z. Duanwei, Z. Wenbing, L. Alan, W. Hongwei, Y. Yun, Z. Zhenxiang y W. Yanyan (2012). “Effect of Chemical and Biological Degumming on the Absorption of Heavy Metal by Cellulose Xanthogenates Prepared from *Eichhornia crassipes*”. *Bioresource Technology*, 107, 41-45.
- Lowe, S., M. Browne, S. Boudjelas y M. de Poorter (2004). *100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo. Una selección del global invasive species database*.
- M. L. de Casabianca y T. Laugier (1995). “*Eichhornia crassipes* Production on Petroliferous Wastewaters: Effects of Salinity”. *Bioresource Technology*, 54, 39-43.
- Ming, X., Ren, G. Quan y Zhang (2007). “Clonal Diversity and Structure of the Invasive Aquatic Plant *Eichhornia crassipes* in China”. *Aquatic Botany*, 87, 242-246.
- Ogueno, G., J. C. Onyango y S. Otieno (2004). “Lake Victoria: The Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes* [Mart.] Solms), its Socio-economic Effects, Control Measures and Resurgence in the Winam Gulf”. *Limnologica*, 34. Maseno, Kenya: Maseno University, Department of Botany, 105-109.
- Ramahlo, R. S. (1991). *Tratamiento de aguas residuales*. 2ª edición.
- Schneider, I. A. H., J. Rubio, M. Misra y R. W. Smith (1995). “*Eichhornia crassipes* as Biosorbent for Heavy Metal Ions”. *Minerals Engineering*, 8(9), 979-988.
- Saraswat, S. y J. P. N. Rai (2010). “Heavy Metal Adsorption from Aqueous Solution using *Ei-*

- chhornia crassipes* Dead Biomass”. *International Journal of Mineral Processing*, 94, 203-206.
- Téllez, T. R., E. M. de Rodrigo L., G. L. Grando, E. A. Pérez, R. M. López y J. M. Sánchez G (2008). “The Water Hyacinth. *Eichhornia crassipes*: an Invasive Plant in the Guadiana River Basin (Spain)”. *Aquatic Invasions*, 3(1), 42-53.
- Thieman, W. y M. Palladino (2010). *Introducción a la biotecnología*. 2ª edición. Pearson, 208-230.
- Universidad Católica/Empresas Públicas de Medellín (EPM) (2003). *Pautas para el monitoreo y manejo hidrobiológico en el embalse de la Hidroeléctrica Porce II*.
- Xi, C., C. Xiuxia, W. Xianwei, W. Boqi y H. Qin (2010). Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Waste as an Adsorbent for Phosphorus Removal from Swine Wastewater. *Bioresource Technology*, 101, 9025-9030.

Artículo de investigación

Degradación de hidrocarburos policíclicos aromáticos de alto peso molecular con bacterias nativas de un suelo contaminado

Estefanía Mireles-Morales;¹ Evangelina Camacho Frías²; Josefina Barrera Cortés^{1*}

RESUMEN

Los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH, por sus siglas en inglés) son un grupo de sustancias compuestas por dos o más anillos bencénicos y reportados por la Environmental Protection Agency (EPA) como altamente cancerígenos, por lo que su eliminación del suelo es de gran interés a nivel mundial. Para su eliminación, han sido aplicadas tecnologías de biorremediación, por ser ambientalmente inocuas y de bajo consumo de energía. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación de cepas bacterianas nativas de suelos altamente impactados con hidrocarburos recalcitrantes, respecto a su capacidad para remover PAH de alto peso (HW, por sus siglas en inglés) molecular. Seis cepas fueron identificadas, que permitieron remover los PAH-HW en porcentajes superiores al 90%. Estos niveles de remoción permanecieron en cultivos con o sin adicionar hidrocarburos de bajo peso molecular, por lo que se asume que podrían remover los PAH como única fuente de carbono.

Palabras clave: biorremediación, hidrocarburos policíclicos aromáticos, bacterias hidrocarbonoclastas.

INTRODUCCIÓN

Los problemas relacionados con la contaminación del suelo han adquirido relevancia en las últimas décadas, debido al conocimiento actual sobre el

riesgo potencial de los PAH para la salud y el ambiente (Cenapred, 2008). Actualmente se dispone de información fiable sobre tecnologías de biorremediación del suelo y agua, principalmente, y cuyo

1 Depto Biotecnología y Bioingeniería. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Av. Instituto Politécnico Nacional 2508. Col. San Pedro Zacatenco. México 07360, D.F.

2 Laboratorio Nacional de Prevención y Control del Dopaje. Comisión Nacional del Deporte.

(*) Autor para correspondencia: Tel. (52) 55-5747 3800 ext. 4380/4388. E-mail: jbarrera@cinvestav.mx.

desarrollo sigue en aumento, dada la necesidad de mitigar los efectos nocivos de la contaminación para el medio ambiente (Núñez, Lorenzo-Ortiz y Oramas, 2010).

Los PAH son sustancias formadas por dos o más anillos aromáticos unidos, encontrados comúnmente en las fracciones pesadas de los destilados de petróleo, aunque también pueden formarse por la combustión incompleta de materia orgánica (Marengo, 2008).

Los PAH se encuentran habitualmente en estado sólido y su estructura de anillos aromáticos conjugados, les confiere una resistencia a agentes químicos. La solubilidad en agua de los PAH decrece al aumentar su peso molecular y, por lo tanto, su carácter lipofílico aumenta; los PAH de mayor peso molecular, al ser los más lipofílicos, tienen mayor significación medioambiental, pues esta característica los hace ser potencialmente bioacumulables (García-Martínez, 2005).

Para la eliminación de este tipo de contaminantes del medio ambiente, la biorremediación se presenta como la tecnología ideal, debido a que presenta la ventaja de requerir inversiones moderadas de capital, además de involucrar métodos ambientalmente seguros y de consumo bajo de energía (Martín-Moreno, González-Becerra y Blanco-Santos, 2004). En los procesos de biorremediación, los microorganismos con la capacidad para metabolizar los contaminantes son el componente más importante. En la actualidad, se ha identificado una gran variedad de especies de microorganismos con la capacidad para remover las diferentes fracciones de hidrocarburos, de los cuales aquellos aislados de los suelos altamente impactados con hidrocarburos son los reportados como más efectivos (Benavides y Quintero, 2006).

El objetivo del presente trabajo fue la evaluación de la capacidad para degradar PAH-HW, como única fuente de carbonos de bacterias nativas de un suelo altamente impactado con altas concentraciones de hidrocarburos de HW molecular contenidos en suelos intemperizados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mezcla estándar de PAH

Los siguientes PAH: fluoranteno ($C_{16}H_{10}$), criseno ($C_{18}H_{12}$) y benzo[*a*]pireno ($C_{20}H_{12}$), grado analítico, fueron adquiridos de la empresa Sigma Aldrich. Se prepararon 25 ml de una solución de los 3 PAH en diclorometano grado cromatográfico (5.82 mg/ml, 1.94 mg/ml de cada PAH).

Aislamiento de cepas nativas tolerantes al queroseno

Las bacterias fueron aisladas por enriquecimiento con un medio de cultivo a base de sales minerales propuesto por Rennie (1981) (30 ml: 0.8 g/l K_2HPO_4 , 0.2 g/l KH_2PO_4 , 0.1 g/l KCl, 0.025 g/l $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$, 0.014 g/l $Na_2FeEDTA$, 1 g/l NH_4NO_3 , 0.2 g/l $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.06 g/l $CaCl_2 \cdot 2H_2O$; pH: 7) y adicionado con queroseno (100 μ L), a partir de muestras de 1 g de suelo contaminado. El proceso de enriquecimiento se llevó a cabo con incubación durante 7 días a 30 °C y 150 rpm.

El aislamiento se realizó por dilución seriada del fermentado. Alícuotas de 100 μ L de cada dilución fueron plaqueadas por duplicado en cajas Petri preparadas con agar nutritivo y czapec. Éstas fueron incubadas 48 horas para crecimiento microbiano a 30 °C y monitoreadas cada 24 horas para observación de crecimiento microbiano.

Las colonias de diferente morfología fueron resembradas por estría cruzada en cajas Petri para su crecimiento (30 °C durante 24 h) y purificación en los mismos medios de cultivo.

Una aproximación a la identificación del género de las cepas aisladas, se realizó mediante un kit de análisis bioquímico (APIS biomérieux), siguiendo las indicaciones del manual de operación.

Preparación de inóculos

Se toma una asada de cada cepa pura aislada y se inoculan por separado y por duplicado, en 30 ml de caldo nutritivo esterilizado contenido en matraces Erlenmeyer de 125 ml, los cuales son incubados a

30 °C y 150 rpm hasta que el crecimiento microbiano alcanza una concentración de 0.5 DO, aproximadamente 24 horas.

La masa celular es recuperada por centrifugación del fermentado en tubos Falcon de 50 ml (5 min a 8000 rpm). Los residuos de medio de cultivo son retirados de la pastilla mediante 3 lavados con agua isotónica (solución al 0.85% de cloruro de sodio) esterilizada. La pastilla se resuspende en el agua isotónica con agitación en *vortex* y posterior centrifugación para la eliminación del sobrenadante. Finalmente, muestras de 0.05 ml del volumen total de biomasa producida (\approx 5 mg) son vertidas en tubos Eppendorf y resuspendidas en 1 ml de medio mineral.

Remoción de PAH mediante las cepas nativas aisladas

La remoción de PAH solos (30 mg/l de cada uno) y mezclados con queroseno (15 mg/l), se llevó a cabo por triplicado con cada una de las cepas aisladas y adicionadas a la misma concentración. Alícuotas de 0.5 ml de una solución de PAH (solos o con queroseno), previamente preparada, son vertidos en viales de 120 ml. Una vez evaporado el solvente a temperatura ambiente y bajo condiciones de esterilidad, 30 ml de medio mineral, conteniendo una de las cepas aisladas, son vertidos en cada vial para su incubación a 30 °C y 150 rpm. Los viales fueron monitoreados cada 7 días, durante tres semanas, para análisis de PAH residuales y crecimiento microbiano.

Análisis de PAH residuales

La concentración de PAH residuales se determinó por cromatografía de gases, previa extracción líquido-líquido del medio de cultivo con diclorometano (método 550, EPA). La fase acuosa resultante es utilizada para cuantificación aproximada de biomasa, por diferencia de pesos. La fase orgánica es filtrada mediante una membrana de nailon de 0.2 μ m, para la eliminación de partículas sólidas y el solvente evaporado a temperatura ambiente.

Los PAH residuales son recuperados con pequeños volúmenes de metal y tarados a 4 ml con el mismo metanol (4 ml), para su posterior análisis por cromatografía de gases.

Se utilizó un cromatógrafo Perkin Elmer modelo Clarus 500, implementado con una columna Quadrex (25 m; i.d. 0.53 mm; 1 μ m espesor película). El programa cromatográfico fue con gradiente de temperatura. Temperaturas del inyector y detector: 250 °C/280 °C. Gradiente de temperatura en el horno: de 60 °C (10 min) a 300 °C (8 min), con una pendiente de 4 °C/min. El porcentaje de hidrocarburos removido se determinó por comparación de los cromatogramas obtenidos con los blancos y las muestras problema (Boonchan, Britz y Stanley, 2000).

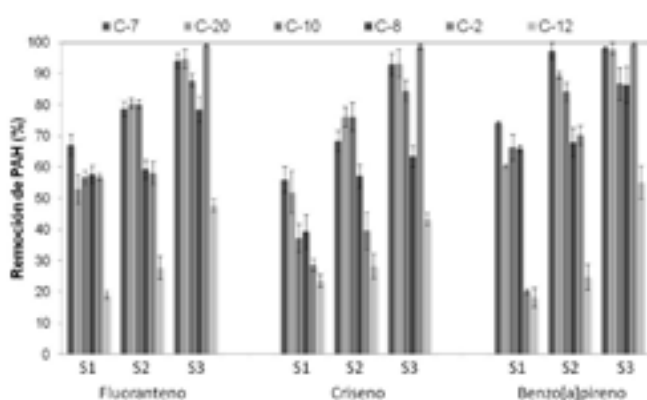
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se aislaron 6 bacterias con la capacidad de crecer en un medio con hidrocarburos como única fuente de carbono: C-7, C-20, C-10, C-8, C-2 y C-12, que fueron tentativamente identificadas por métodos bioquímicos dentro de los géneros *Klebsiella* (C-7, C-8, C-2), *Stenotrophomonas* (C-20, C-10) y *Rhodotorula* (C-12). La capacidad de éstas para remover hidrocarburos solos o mezclados con queroseno, se describe en los párrafos siguientes.

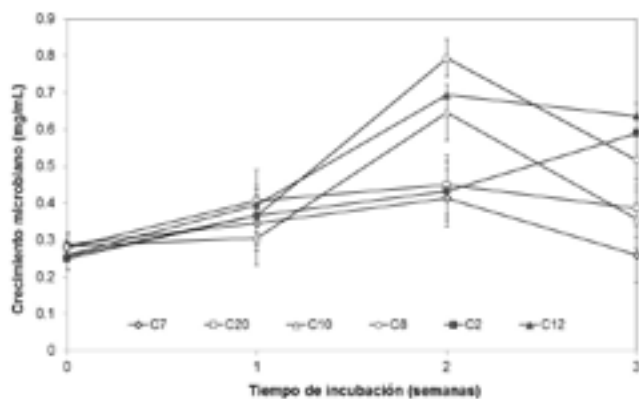
Remoción de PAH como única fuente de carbono

La gráfica 1 presenta los porcentajes de remoción de los PAH estudiados (fluoranteno, criseno y benzo[*a*]pireno), en un periodo de tres semanas (S1, S2 y S3), mediante las 6 cepas nativas aisladas. Se observa un incremento en los porcentajes de remoción de los PAH en función del tiempo, aunque a diferente velocidad, dependiendo de la cepa y tipo de hidrocarburo. Las cepas con la mayor tasa de remoción de PAH, se ubicaron a la izquierda de cada grupo de barras. Éstas fueron del orden del 7 y 10 mg/día, principalmente para fluoranteno y benzo[*a*]pireno, y en porcentajes superiores al 50% desde la primera semana. Aunque el criseno fue re-

movido muy lentamente, porcentajes cercanos al 90% fueron alcanzados en la tercera semana (S3) del cultivo.



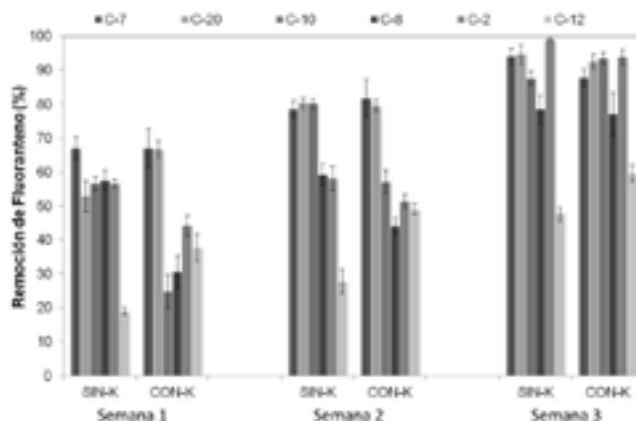
Gráfica 1. Remoción de los PAH: fluoranteno, criseno y benzo[a]pireno en el curso de tres semanas (S1, S2 y S3), mediante seis cepas nativas aisladas de suelos contaminados con 500 000 mg/kg de hidrocarburos contenidos en suelos intemperizados: C-7, C-20, C-10, C-8, C-2 y C-12.



Gráfica 2. Crecimiento microbiano en los sistemas adicionados con PAH, como única fuente de carbono.

El peso microbiano de los sistemas adicionados con los PAH como única fuente de carbono, se presenta en la gráfica 2. Se observa un moderado crecimiento microbiano durante las dos primeras semanas, de 0.3 mg/ml a 0.7 mg/ml, aproximadamente. Estos resultados son congruentes con el incremento en la remoción de los PAH. La caída en el crecimiento microbiano de la última semana, podría explicarse por la disminución en la concentración de la fuente de carbono. La falta de congruencia entre el crecimiento microbiano y degradación de PAH por cepa, podría estar asociado a la estructura

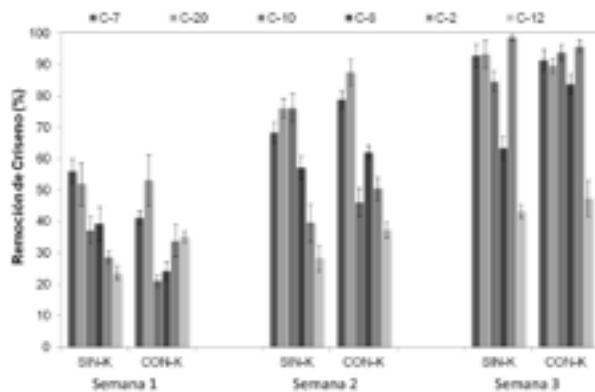
de las cepas estudiadas. Mientras la cepa C12 es una levadura, las demás son pequeños bacilos.



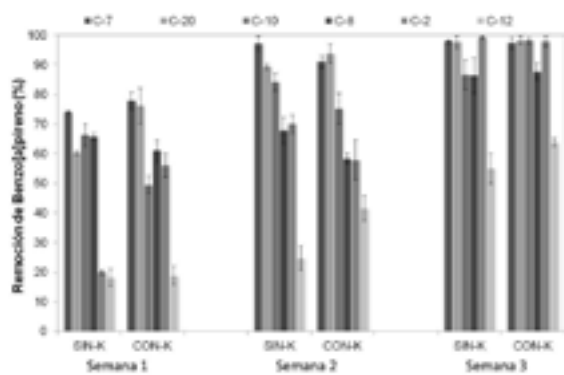
Gráfica 3. Impacto del queroseno en la remoción de fluoranteno mediante las seis cepas estudiadas. SIN-K y CON-K indica sistemas sin o con queroseno, respectivamente.

Remoción de PAH adicionados junto con queroseno

La adición de queroseno mostró un efecto diferente en cada uno de los sistemas por efecto de la acción interrelacionada de los factores edad del cultivo, cepa y tipo de contaminante, como se observa en las gráficas 3, 4 y 5. Con relación al tipo de cepa, las identificadas como C-20 y C-12, incrementaron el nivel de remoción de los PAH en hasta un 21%. En el caso de las cepas C-10 y C-8, este efecto solo fue observado en la tercera semana del cultivo. Se ha reportado que el queroseno tiene la capacidad de disolver los PAH; por tanto, el bajo desempeño de estas dos últimas cepas podría atribuirse a una posible inhibición por un aumento en la concentración de PAH biodisponibles (Zhou y Qin, 2011).

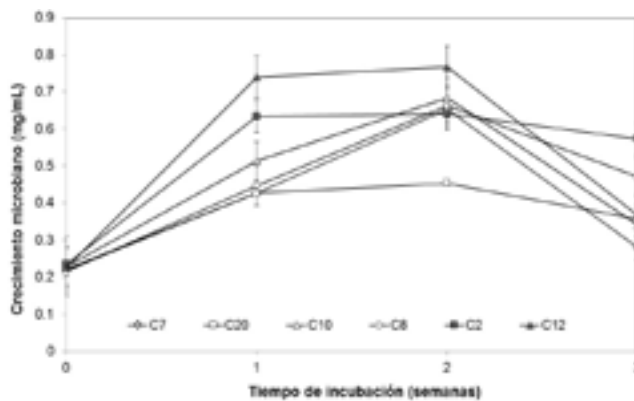


Gráfica 4. Impacto del queroseno en la remoción de criseno mediante las seis cepas estudiadas. SIN-K y CON-K indica sistemas sin o con queroseno, respectivamente.



Gráfica 5. Impacto del queroseno en la remoción de benzo[a]pireno mediante las seis cepas estudiadas. SIN-K y CON-K indica sistemas sin o con queroseno, respectivamente.

Las gráficas 3-5 muestran que 4 de las cepas removieron los PAH en porcentajes superiores al 90%. Estos niveles de remoción fueron similares en los cultivos implementados con y sin queroseno, lo que podría indicar que no se requiere de otra fuente de carbono de menor peso molecular para mejorar la eficiencia de las cepas estudiadas para degradar los PAH. El crecimiento celular fue claramente identificado a partir de la primera semana (gráfica 6); estos resultados sugieren que las cepas tienen la capacidad de remover los PAH-HW como única fuente de carbono.



Gráfica 6. Crecimiento microbiano en los sistemas adicionales con PAH, mezclados con queroseno.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se ha reportado que las bacterias del género *Klebsiella* tienen la capacidad de excretar emulsificantes, que les permiten aumentar el área superficial de sustratos como los hidrocarburos. Otra propiedad importante de estas bacterias es su capacidad de modificar su superficie celular, lo que les permite metabolizar sustratos hidrofóbicos. Eman *et al.* (2012), quienes estudiaron la degradación de benceno, fenantreno, fluoranteno y pireno mediante *Klebsiella oxytoca*, en concentraciones de 70 mg/l, determinaron porcentajes de degradación de estos compuestos del orden de 87%, 71.4%, 70% y 58.6%, en un tiempo de 2 días, respectivamente. Estos resultados son congruentes con los obtenidos en el presente trabajo, aunque en nuestro caso, los porcentajes para remover los PAH de mayor peso molecular como el criseno y benzo[a]pireno, fueron mayores.

Bacterias del género *Stenotrophomonas* han sido también reportadas con la capacidad de degradar compuestos aromáticos, tanto de un anillo bencénico como de más de 4 (Juhász, Stanley y Britz, 2000). Los porcentajes de remoción obtenidos en un tiempo de tratamiento de entre 5 y 42

días son los siguientes: pireno, 98%; fluoranteno, 45%; benzo[a]antraceno, hasta 26%; benzo[a]pireno, 22%; dibenzo(a, h)antraceno, 22%; coroneno, 55%. Aunque estos resultados son inferiores a los determinados en esta investigación, permiten corroborar la capacidad de las cepas aisladas en este estudio y su factible aplicación en la remediación de suelos altamente impactados con PAH de HW molecular.

Finalmente, con relación al género de bacterias *Rhodotorula mucilaginosa*, la información es escasa con respecto a su capacidad para transformar hidrocarburos. Los estudios publicados están relacionados con la transformación del fenantreno y el benzo[a]antraceno (MacGillivray y Shiaris, 1993; Juhasz y Naidu, 2000). En el presente trabajo, la bacteria identificada como *Rhodotorula* fue precisamente la cepa que produjo los niveles de remoción más bajos de PAH.

CONCLUSIONES

Las cepas aisladas de suelos impactados con 50% de hidrocarburos intemperizados fueron identificadas dentro de los géneros *Klebsiella*, *Stenotrophomonas* y *Rhodotorula*, las cuales mostraron la capacidad de remover en cifras superiores al 90% los PAH estudiados: fluoranteno, criseno y benzo[a]pireno. Aunque las concentraciones de PAH trabajadas (90 mg/l) podrían considerarse bajas, los niveles de remoción obtenidos superiores al 90%, al adicionar los PAH como única fuente de carbono, nos muestran la capacidad de las cepas aisladas para remediar suelos impactados con este tipo de contaminantes.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto CB-2010/156837 financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Asimismo, los autores agradecen el apoyo del Sr. Cirino Rojas Chávez, de la Central Analítica de nuestro Departamento.

BIBLIOGRAFÍA

- Benavides, J. y G. Quintero (2006). "Biorremediación del suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo", *Nova*, 4(5), 87-88.
- Boonchan, A., M. L. Britz y G. A. Stanley (2000). "Degradation and Mineralization of High Molecular Weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Defined Fungal-bacterial Co-cultures". *Applied Environmental Microbiology*, 66, 1007-1019.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) (2008). *Guía práctica sobre riesgos químicos*. Sistema Nacional de Protección Civil.
- García-Martínez, M. J. (2005). "Los hidrocarburos policíclicos aromáticos asociados a combustibles fósiles: caracterización, análisis y remediación". ETSI Minas (UPM).
- Juhasz, A. H., G. A. Stanley y M. L. Britz (2000). "Microbial Degradation and Detoxification of High Molecular Weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by *Stenotrophomonas maltophilia* Strain VUN 10 003". *Letters in Applied Microbiology*.
- Juhasz, A. H. y R. Naidu (2000). "Bioremediation of High Molecular Weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: a Review of the Microbial Degradation of Benzo[a]pyrene". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 45, 57-88.
- MacGillivray, A. R. y M. P. Shiaris (1993). "Bio-transformation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Yeasts Isolated from Coastal Sediments". *Applied and Environmental Microbiology*, 59(5), 1613-1618.
- Marengo, J. I. (2008). "Evaluación de plantas con potencial fitorremediador de hidrocarburos policíclicos aromáticos de la ciénaga Las Cucharillas". San Juan, Puerto Rico. Universidad Metropolitana, Escuela Graduada de Asuntos Ambientales.

- Martín-Moreno, C., A. González-Becerra y M. J. Blanco-Santos (2004). “Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratamientos de biorrecuperación”. *Revista Iberoamericana de Micología*, 21, 103-120.
- Mohamed E., A. H., M. H. Yousef N. y A. G. Farag (2012). “Isolation and Molecular Identification of Polyaromatic Hydrocarbons – utilizing Bacteria from Crude Petrol Oil Samples”. *African Journal of Microbiology Research*, 6(49), 7479-7484.
- Núñez R., R. M., E. Lorenzo-Ortiz y J. Oramas (2010). “Biorremediación de la contaminación de petróleo en el mar”. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*.
- Rennie, R. J. (1981). “A Single Medium for the Isolation of Acetylene-reducing (Dinitrogen-fixing) Bacteria from Soils”. *Canadian Journal Microbiology*, 27(1), 8-14.
- Zhou, Z. y W. Qin (2011). “Extraction Properties of Phthalic Acid and Aromatic Polycarboxylic Acids using Various Solvents”. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 86(4), 492-496.

Avance de investigación

Calidad del agua para uso acuícola de la Laguna de Tres Palos del municipio de Acapulco, Gro.

S. García S.,^{1*} B. G. Toache,¹ T. V. del C. López,¹ J. I. Benítez V.,¹ A. A. Juárez¹ y G. M. Rivas¹

RESUMEN

La calidad del agua para uso acuícola en áreas de la Laguna de Tres Palos, permite conocer el grado de contaminación. Con este propósito se establecieron cuatro estaciones de muestreo en: San Pedro las Playas, Varadero de Tres Palos, Plan de los Amates y Barra Vieja, y se realizaron de julio a noviembre de 2012. Se midieron en el agua: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza, amonio, nitratos y nitritos, que oscilaron entre 28.5 a 33.5 °C; 0.0 a 7.5‰; 2.0 a 14.95 mg/l; 95 a 270 mg/l; 24 a 95 mg/l; 0.150 a 0.980 mg/l; 0.0 a 1.480 mg/l; y 0.018 a 0.138 mg/l. No se presentaron diferencias significativas que pudieran afectar la calidad del agua para la acuicultura. Los desequilibrios que podrían darse en la concentración de algunos parámetros podrían deberse a situaciones puntuales como altas concentraciones de materia orgánica arrastradas por las lluvias, escorrentías en un momento dado.

Palabras clave: calidad del agua, contaminación, uso acuícola.

INTRODUCCIÓN

Las lagunas costeras del Pacífico son cuerpos de agua que tienden a cerrar temporal o permanentemente su comunicación con el mar, como resultado de los cambios de los patrones climáticos e hidrológicos; a través de esto se intemperiza el suelo y se aportan grandes cantidades de sedimentos en las épocas de lluvias, que posteriormente el mar

retrabaja formando barras que consecuentemente bloquean la comunicación con él. Esto ha conducido al aislamiento de la laguna desde su formación hasta la actualidad (Curry, Emmel y Crampton, 1969), acelerando su azolvamiento, favoreciendo cambios bioquímicos y predisponiendo a mayores impactos antropogénicos (incremento en grandes concentraciones de materia orgánica, nutrientes y

¹ Unidad Académica de Ciencias Ambientales/Universidad Autónoma de Guerrero, México. Carretera Cayaco-Puerto Marqués, Campus Llano Largo; Tel. (744 449 2637), Acapulco, Gro.

* Autor para correspondencia: e-mail: silberio_garcia134@hotmail.com.

contaminantes por residuos sólidos y químicos). Un ejemplo es la Laguna de Tres Palos, que se encuentra aislada del mar y es alimentada por el río La Sabana, que a partir de los setenta ha presentado un crecimiento poblacional y de empresas e industrias (Gaceta Parlamentaria, 2002). Lo anterior ha modificado fuertemente la calidad del agua que ha impactado al ecosistema.

El agua es un recurso natural necesario para el desarrollo de un gran número de actividades humanas, ya que tiene una gran influencia en los procesos bioquímicos que ocurren en la naturaleza. Esto se debe no solo a sus propiedades físico-químicas como molécula polar, sino también a los constituyentes orgánicos e inorgánicos que se encuentran en ella. Se considera que el agua es un solvente universal, debido a que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean éstas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso.

La creciente degradación de la Laguna de Tres Palos está dada por la disminución de su calidad, la cual es provocada por los asentamientos humanos principalmente cerca del área de estudio. Por ello existe la necesidad de realizar un análisis que permita determinar la calidad de esa agua, con fines acuícolas, ya que la pesca es una de las actividades más importantes dentro de las comunidades que se encuentran alrededor de este cuerpo de agua. Incluso, la mayor parte de la población que se concentra aquí tiene una relación directa con sociedades cooperativas pesqueras. El ejemplo más claro es la producción de tilapia, ya que además de ser la especie de mayor consumo dentro de la población, también es la que más fácilmente se cultiva, debido a que es más resistente a condiciones de características físico-químicas de mayores intervalos que otras especies. De ahí la importancia de realizar un estudio de la calidad del agua para uso acuícola en la Laguna de Tres Palos.

ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Tres Palos se localiza a 16°47' y 16°49' latitud norte y 99°39' y 99°47' longitud oeste (figura 1); con una extensión aproximada de 55 km² (Sevilla *et al.*, 1980). Se sitúa entre el río La Sabana, que descarga en la parte norte de la laguna, y el río Papagayo, que sale al mar a unos 2.5 km al sur de la laguna (Mañón-Ontiveros, 1985). En la tabla 1, se muestra la ubicación de las estaciones de muestreo.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo de la Laguna de Tres Palos (1. San Pedro las Playas, 2. Varadero de Tres Palos, 3. Plan de los Amates y 4. Barra Vieja).

Estaciones	Coordenadas	
	N	WO
1	16°49'15.2"	99°44'20.9"
2	16°45'31.5"	99°45'31.9"
3	16°45'09.5"	99°43'20.0"
4	16°41'40.7"	99°37'38.2"

CARACTERÍSTICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA USO ACUÍCOLA: FÍSICO-QUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS

La calidad del agua es una condición general que permite que esta sustancia, se emplee para usos concretos. Esta calidad es determinada por los parámetros físico-químicos y biológicos de un cuerpo de agua. El cultivo de peces depende en gran parte de la calidad del agua, por lo que, para lograr una buena producción, es necesario mantener las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia de la especie a cultivar.

La presencia de sustancias químicas y biológicas disueltas e insolubles en el agua (de origen natural o antropogénico) define su composición física y química. El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que un cuerpo de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces, puede no ser apto para la natación, consumo humano o industria.

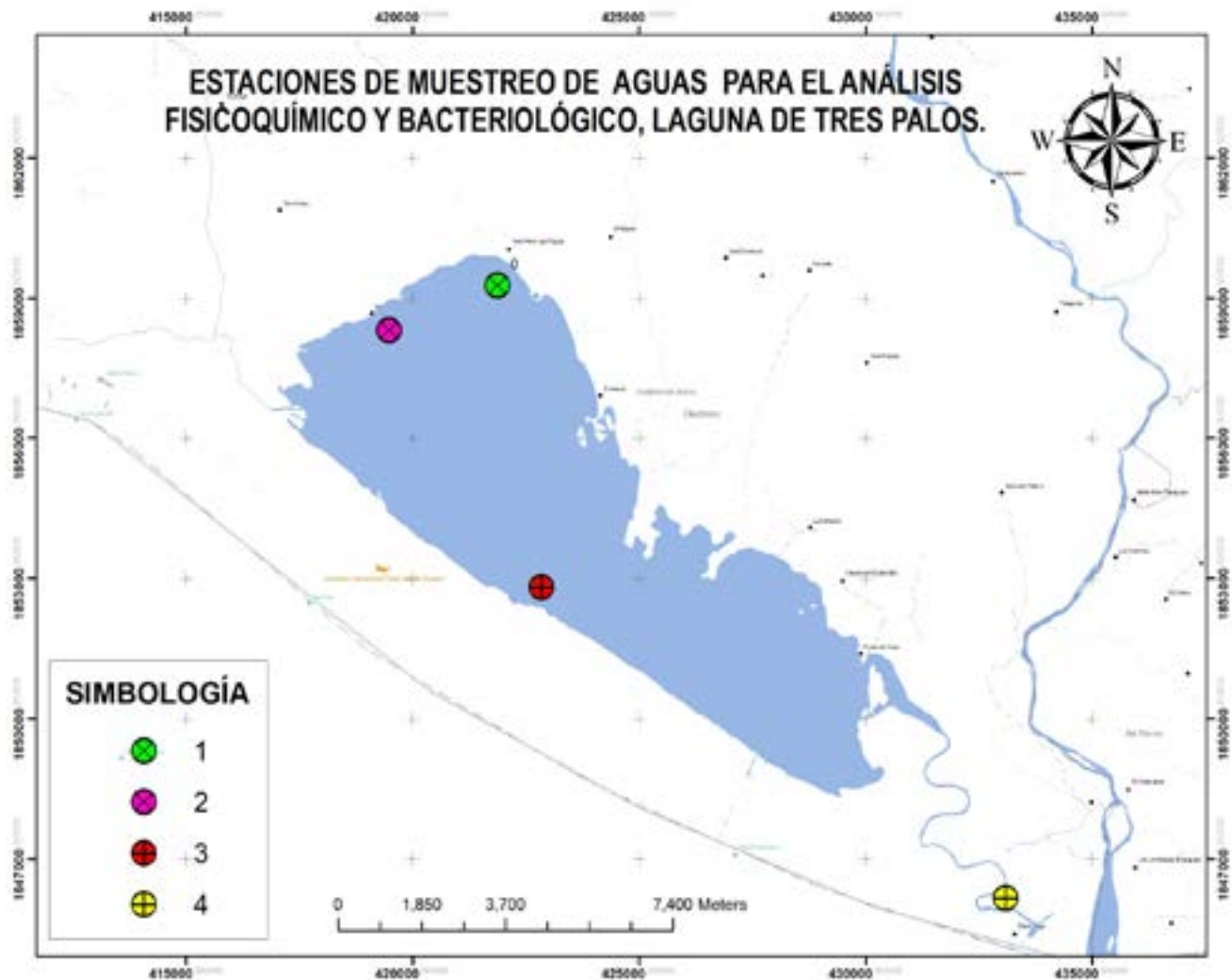


Figura 1. Ubicación de la Laguna de Tres Palos y estaciones de muestreo.
Fuente: elaboración propia a partir de datos vectoriales. INEGI (2012), México.

Para decidir si el agua califica para alguno de los propósitos anteriores, la calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que el agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial. Las principales características físico-químicas y biológicas que definen la calidad del agua para el cultivo de peces, constituyen su importancia en la salud, lo cual se relaciona con los principales procesos de tratamientos y límites de concentración establecidos por las normas de calidad del agua, que se tratan a continuación.

Los factores físico-químicos de mayor importancia son: temperatura, pH, salinidad, alcalinidad,

dureza, oxígeno disuelto (gases), amonio, nitratos y nitritos, mientras que los factores biológicos relevantes para la producción son: *Aeromonas* (*Aeromonas hydrophila*, *A. caviae* y *A. sobria*), *Francisella*, *Pseudomonas*, *Streptococcus* y coliformes.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Temperatura: el agua tiene una resistencia o lentitud a los cambios de temperatura (capacidad de calor específico). En los ecosistemas terrestres, los cambios de temperatura pueden llegar hasta los 15 °C por el calor del sol, mientras que en los acuáticos estas variaciones no sobrepasan los 3 o 4 °C.

Estos cambios estacionales de temperatura, se producen lentamente en el curso de varios meses; estas variaciones repentinas pueden ser provocadas por abundantes lluvias o aguas provenientes de industrias (Jiménez-Guzmán, 2009). Este parámetro es fundamental para que los peces crezcan más rápido y el ciclo productivo se reduzca. En aguas frías, el pez presenta un bajo metabolismo y casi no come; en cambio, en aguas más cálidas es muy activo, come mucho y se desarrolla más rápido.

La temperatura ideal para la engorda de peces está entre los 26 y 34 grados centígrados. La tilapia tolera niveles de hasta 20 grados centígrados, pero su desarrollo es muy lento; en cambio, valores muy altos de temperatura (mayores de 34 grados centígrados) producen bajos niveles de oxígeno, que pueden llevar a la muerte del pez si hay una exposición prolongada.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Oxígeno: elemento de mayor importancia en la producción acuícola, ya que para realizar todos los procesos metabólicos, tales como: desarrollo, reproducción, engorde, supervivencia, el pez necesita del oxígeno. En una baja de oxígeno del cuerpo de agua, estos organismos van a sufrir enfermedades y poco desarrollo, porque no comen, les bajan las defensas y se pueden producir otras muchas patologías. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua que requieren los peces de clima tropical para una producción óptima, es mayor a 2.0 mg/l de agua, rango muy favorable para la tilapia. Si se posee una cantidad menor a 2 mg/l, el pez puede sobrevivir pero se retarda su crecimiento. Aguas menores a 1 mg/l de oxígeno disuelto son letales para los organismos.

Salinidad: los peces pueden tolerar diferentes salinidades, pero son sensibles a los cambios bruscos de la misma.

Potencial de hidrógeno (pH): indica si el agua es ácida o básica. Cuando el pH es menor que 7, el agua se denomina ácida; si es de 7, neutra; pero si el pH es mayor que 7, el agua es alcalina. Los peces pueden vivir y reproducirse en un rango de 6 a 9 de pH. En valores menores de 4 y mayores de 11, ya son aguas muy ácidas en el caso del primer valor o muy básicas en el caso del segundo, causando lesiones graves en los peces que pueden ser letales.

LOS FACTORES MÁS IMPORTANTES QUE ALTERAN EL PH DEL AGUA SON:

1. La respiración (efecto: la reducción del pH al generar anhídrido carbónico y por consiguiente, ácido carbónico, acidificando en esta forma el agua).
2. El metabolismo de las plantas (es utilizado el anhídrido carbónico para la fotosíntesis y nitrato para el crecimiento; ambos dan como resultado el aumento del pH).
3. La filtración biológica: bacterias (dos procesos): la *nitrificación*, donde las excretas de los organismos acuáticos que contienen amoníaco (NH_3), se descomponen en nitritos (NO_2) y después en nitratos (NO_3), que son menos tóxicos. En la *desnitrificación*, los nitratos se convierten en nitrógeno libre y oxígeno, acidificando el agua, provocando un aumento en el pH (Jiménez-Guzmán, 2009).

Amonio no-ionizado (N-NH_3), nitritos y nitratos: son producto de la degradación de la proteína proveniente de la materia orgánica que hay en la laguna y de desechos orgánicos de los peces. Éstos se localizan en el fondo del cuerpo de agua, así como en el lodo. Los tres compuestos producen disminución del oxígeno disuelto en el agua, además de disminución del valor del pH, tornando el agua en un medio muy ácido.

En el caso del amonio, si su concentración es mayor de 0.1 mg/l, podría constituirse como un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales. El amonio es tóxico y se hace más tóxico cuando el pH y la temperatura del agua están elevados.

Nitratos y nitritos: debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse, y su presencia en concentraciones mayores es peligrosa. Solo son detectados cuando se manifiesta un problema de salud en organismos de cultivo. Niveles de nitrato entre 0 y 10 mg/l son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 10 mg/l puede ser tóxico. Niveles de nitritos superiores a 0.1 mg/l en el agua, pueden provocar estrés en los peces.

Los efectos patológicos más importantes que se manifiestan por la toxicidad del nitrito, se caracterizan por la destrucción de los glóbulos rojos de la sangre y la oxidación del hierro de la hemoglobina, que se transforma en metahemoglobina, la cual carece de la capacidad de transportar el oxígeno. Los peces con este síndrome de envenenamiento por nitrito, muestran un color pardo (marrón) en las branquias, sangre, hígado, bazo y riñón, así como una pigmentación oscura; además, manifiestan un decaimiento y anoxia (insuficiencia de oxígeno) (Jiménez-Guzmán, 2009).

Alcalinidad y dureza: la alcalinidad es dada por la concentración de iones de carbonato y bicarbonato, y la dureza, por la concentración de iones de calcio y magnesio. De acuerdo a su cantidad, las aguas dulces se clasifican como blandas (0-60 mg/l), moderadamente duras (60-120 mg/l) y duras (más de 120 mg/l). Los peces, en general, requieren una dureza de 50-300 mg/l. Una forma sencilla de saber si el agua posee una alta concentración de sales sin realizar análisis de laboratorio, es observar si se forman costras blancas (sarro) en los bordes de los estanques, en este caso en la laguna, o bien, si el jabón tarda mucho en hacer espuma y si ésta desaparece rápidamente. En épocas de sequía, cuando

los espejos de agua disminuyen y no hay abastecimiento, la evaporación incrementa la dureza del agua (Jiménez-Guzmán, 2009).

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Aeromonas (*Aeromonas hydrophila*, *A. caviae* y *A. sobria*), *Francisella*, *Pseudomonas*, *Streptococcus* y coliformes.

Aeromonas: estas bacterias pueden manifestarse en cuatro formas: asintomática, crónica, preaguda y aguda. La infestación en los peces se manifiesta por producción excesiva de *mucus* en la piel y erosiones (úlceras rojas-grisáceas regularmente circulares), pudiéndose observar los paquetes musculares. Cuando hay procesos necróticos muy avanzados en la piel, las aletas presentan hemorragias en su base y desgarros del organismo.

Francisella: los síntomas pueden presentar: opacidad corneal o algún grado de exoftalmia bilateral, marcada palidez branquial y nódulos o lesiones hemorrágicas en la piel de los peces.

Pseudomonas: enfermedad que ocasiona la septicemia hemorrágica, causada por la bacteria *Pseudomonas fluorescens*, y es patógena en peces. Las características de esta enfermedad son: lesiones hemorrágicas sobre la piel de los peces, las cuales se inician con hiperemia en los vasos de la dermis y pueden penetrar hasta el músculo; así como manchas rojas en la piel, boca, base de la aleta y ano.

Streptococcus: ocasiona en los peces, principalmente en tilapia, lesiones cutáneas superficiales. Se observa que los animales infectados dejan de alimentarse, y se vuelven letárgicos y adelgazados. Se presenta septicemia hemorrágica cutánea difusa en todo el cuerpo, prevaleciendo en la región cefálica y caudal.

Coliformes: como un indicador de organismos patógenos, que pueden presentar un riesgo de conta-

minación en la carne del pescado y ser transmitidos a los consumidores, de acuerdo a la NOM-027-SSA1-1993.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron en cuatro estaciones adyacentes a las comunidades de San Pedro las Playas, Varadero de Tres Palos, Plan de los Amates y Barra Vieja, con una periodicidad mensual, de julio a noviembre de 2012, las cuales fueron elegidas con base en los siguientes criterios: áreas cercanas a las comunidades, que significa un riesgo potencial de contaminantes domésticos, y aquellas otras donde normalmente los pobladores realizan actividades de acuacultura en jaulas flotantes. Se tomaron muestras de agua para determinar parámetros microbiológicos, así como presencia de coliformes totales por el método de Número Más Probable (NMP) con base en la NOM-109-SSA1-1994, la cual cita el procedimiento para la toma, manejo y transporte de muestras para su análisis microbiológico y la norma NMX-AA-42-1987.

Para la determinación de la carga bacteriológica del agua, se utilizó el método de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés) Tiempo Real. Se filtraron 200 ml de agua con papel filtro en un frasco de 100 ml. Posteriormente se fijó en alcohol etílico absoluto al 95% y se realizó la extracción de ácidos nucleicos empleando el robot *Maxwell 16*® de Promega®, utilizando el kit *Maxwell*® 16 *Viral Total Nucleic Acid Purification*, protocolo de acuerdo a Promega®. Las detecciones se hicieron utilizando sondas e indicadores específicos para conocer bacterias como: *Edwardsiella ictaluri*, *Edwardsiella tarda*, *Aeromonas sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Francisella sp.*, *Streptococcus sp.*, usando como mezcla de reacción Taqman® *One-step RT-PCR Master Mix* de Applied Biosystems®. La reacción fue de 40 ciclos en un termociclador *Step One*® de Applied Biosystems®.

Se determinaron los parámetros físico-químicos: temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad con ayuda del multiparámetro ISY; transparen-

cia con el disco de Secchi; y alcalinidad, dureza, amonio, nitratos y nitritos con el *Photometers YSI 3900*.

Se aplicó la prueba paramétrica de Análisis de Varianza (Anova) para los datos que cumplieron con el supuesto de normalidad y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para aquellos que no cumplieron con el supuesto de normalidad, con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre las concentraciones de los parámetros con respecto a las estaciones y meses muestreados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las características físico-químicas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, amonio no-ionizado, nitratos, nitritos, alcalinidad y dureza) determinadas en las estaciones adyacentes a las comunidades de San Pedro las Playas, Varadero de Tres Palos, Plan de los Amates y Barra Vieja del municipio de Acapulco fueron las siguientes:

Para la comparación de los resultados obtenidos en las concentraciones determinadas de los diferentes parámetros muestreados del agua, se tomaron en cuenta las normas NOM-109-SSA1-1994, NOM-027-SSA1-1993 y NOM-001-ECOL-1996, que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, así como el *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa)*.

Temperatura: la temperatura en las estaciones muestreadas presenta una ligera variación oscilando entre 28.5 a 33.5 °C, con una desviación de 1.2 en el mes de septiembre. Sevilla *et al.* (1980) refieren un intervalo de 28 a 31 °C. De la Lanza-Espino *et al.* (2003) registraron un intervalo de 29.4 a 30.3 °C (tabla 2). Los resultados obtenidos no presentan diferencias significativas, pero sí dispersión en el mes antes mencionado en el año 2012 (tabla 3 y figura 2). Este último resultado es considerado nor-

mal de acuerdo al *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa)*, gobierno federal (2008).

Salinidad (%): la salinidad presentó mayor dispersión con un rango de 7.5% en el mes de julio en las estaciones de muestreo ubicadas en la comunidad de Barra Vieja y 0.0% en el mes de agosto en las de San Pedro Las Playas y Varadero de Tres Palos. El primer resultado (7.5%) se realizó en el canal de Barra Vieja, cercano al lugar que comunica la laguna con el mar; por lo tanto, la concentración de salinidad es mayor. Por otro lado, el segundo resultado (0.0%) es debido a que las muestras fueron tomadas cerca de la desembocadura del río La Sabana (periodos de lluvia) (figura 2).

Oxígeno disuelto: la concentración de oxígeno disuelto tuvo marcada diferencia en cada estación de muestreo. Los máximos niveles de concentración se obtuvieron en los meses de julio, agosto y noviembre, presentando mayor dispersión en los valores que alcanzaron de 10 a 14.95 mg/l de O₂ en las estaciones ubicadas frente a las comunidades de San Pedro las Playas y Varadero de Tres Palos, principalmente. En dos muestreos, la concentración de oxígeno disminuyó significativamente a niveles críticos, particularmente en las estaciones ubicadas en las comunidades de Plan de los Amates y Barra Vieja, al sur de la laguna, alcanzando en el mes de septiembre entre 1.95 a 2.5 mg/l (figura 2). La marcada disminución de oxígeno encontrada en el mes de septiembre, se cree que se debe a las grandes concentraciones de materia orgánica en suspensión arrastrada por las lluvias.

Se puede decir que aún no hay estratificación del cuerpo de agua, debido a la mezcla generada por los vientos y el gran aporte de oxígeno generado por la fotosíntesis de microalgas en la superficie, alcanzando la saturación de este gas, degradán-

dose y consumiéndose por las concentraciones de microorganismos existentes en el agua.

Haciendo referencia a la *saturación* del oxígeno disuelto, estudios realizados por Kemka *et al.* (2006) y Banderas y González (no publicado), citados por: De la Lanza-Espino *et al.* (2003), referentes a este parámetro, justifican altas cantidades de oxígeno disuelto, debido a que la producción de fotosíntesis puede alcanzar hasta 13 mg/l en la superficie del cuerpo de agua. Este resultado se debe principalmente a la alta producción primaria.

Con respecto a la *concentración* de oxígeno disuelto, Barrera-Huerta (1975) determinó el contenido de este parámetro cercano al canal que comunica con el mar y la laguna de 1.5 mg/l, semejante a lo registrado en 2012 en el presente estudio (figura 2). El autor lo atribuyó a las grandes masas de fitoplancton, que evitan la penetración de la luz y la aportación de materia orgánica, que al descomponerse consume el oxígeno disuelto del agua.

De igual manera, Sevilla *et al.* (1980) registraron una marcada disminución de oxígeno hacia el sur de la laguna, cerca del canal que comunica con el mar (Barra Vieja); asimismo, los estudios realizados por De la Lanza-Espino *et al.* (2003) y del presente estudio presentan la misma condición en el mismo lugar.

Amonio no-ionizado (N-NH₃): los niveles de amonio fueron altos en todos los meses y estaciones de muestreo. El rango permitido para el cultivo de tilapia es de 0.01 a 0.1 mg/l, de acuerdo con el *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa)*, gobierno federal (2008). Por lo que, de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede considerar como agua contaminada, asociada principalmente a las descargas de aguas residuales que provienen de los asentamientos humanos en los márgenes de la laguna, así como a la gran aporta-

ción de descarga del río La Sabana. Al contrastar, los resultados presentan mayor dispersión en los meses de julio y octubre, que posiblemente tenga relación con el periodo de estiaje (figura 2).

Nitratos y nitritos: entre las concentraciones de estos parámetros estadísticamente no existen diferencias significativas (figura 2), las cuales fueron de 0.0-1.480 en el primer parámetro y de 0.018-0.138 en el segundo. En el caso de nitratos, se encuentra dentro de límites permisibles y en el de nitritos, un muestreo efectuado en la estación ubicada en Plan de los Amates, de veinte realizados en las cuatro estaciones, rebasó los límites permisibles según el *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa)*, gobierno federal (2008).

Alcalinidad: en las concentraciones de alcalinidad estadísticamente se presentan diferencias significativas en los meses de julio-septiembre, agosto-septiembre y septiembre-noviembre, de acuerdo a la prueba paramétrica de Sheffé (tabla 3 y figura 2). Se observó una mínima de 95 mg/l y una máxima de 270 mg/l. En 45% de los muestreos de las cuatro estaciones, los niveles rebasaron los 200 mg/l, es decir, estuvieron por arriba de los límites permisibles para el cultivo de tilapia, los cuales pueden producir estrés y ocasionar lesiones graves en los peces.

Dureza: se cuantificó una mínima de 24 mg/l y una máxima de 95 mg/l, consideradas como aguas blandas, parámetros que se encuentran dentro de los límites permisibles según el *Manual de buenas*

prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), gobierno federal (2008). Este elemento no presenta diferencias significativas, de acuerdo a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (tabla 3 y figura 2).

Bacteriológicos: en los resultados bacteriológicos se detectaron los siguientes agentes infecciosos: *Aeromonas* (*Aeromonas hydrophila*, *A. caviae* y *A. sobria*), *Francisella*, *Pseudomonas*, *Streptococcus* y coliformes.

La mayor prevalencia fue de la bacteria denominada *Pseudomonas*, seguida por *Streptococcus*, *Aeromonas* y *Francisella*, las cuales se detectaron en 55% (56 análisis de 20 muestreos en cuatro estaciones) y en el restante 45% de las muestras no se detectaron estos agentes infecciosos. En el mes de noviembre fue donde se detectó mayor presencia de estas bacterias, debido principalmente a la época de estiaje. Asimismo, se detectaron mesofílicos aerobios entre 224 000 a 570 000 (UFC/g), donde el límite máximo permisible debe de ser 10 000 000 UFC/g, que marca el *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa)*, gobierno federal (2008). Por otro lado, hubo agentes infecciosos que no se detectaron, tales como: *Edwardsiella* (*E. tarda*, *E. ictaluri*), ya que esta bacteria solo se presenta en condiciones de temperatura mayor a 30 °C. Esta enfermedad se ha detectado solamente en “bagre de canal” del estado de Guerrero, por lo que en los análisis realizados no se detecto en este cuerpo de agua.

Tabla 2. Comparación de las características físico-químicas y biológicas de la Laguna de Tres Palos en 1971 (Barrera-Huerta, 1975; Sevilla et al., 1980) con el estudio de De la Lanza-Espino et al. (2003) y el presente estudio (2012): (Temperatura [Temp.], oxígeno disuelto [O₂], salinidad [sal], profundidad del disco de Secchi [Z_{DS}], fósforo soluble reactivo [PO₄], fósforo total [PT], amonio no-ionizado [N-H₃], alcalinidad, dureza, nitritos, nitratos, nitrógeno total [NT], demanda bioquímica de oxígeno [DBO₅], demanda química de oxígeno [DQO] no determinado [ND], detectado [D], carga bacteriológica [Edwardsiella: E. tarda, E. ictaluri], Aeromonas, Aeromonas móviles [Aeromonas hydrophila: A. caviae y A. sobria], Pseudomonas, Francisella, Streptococcus y coliformes). *Niveles registrados por Sevilla (1980). **Niveles registrados por De la Lanza-Espino et al. (2003).

Variables	1971	2003	2012
Temperatura °C	28.5 a 31.0 °C*	29.4 a 30.3 °C**	28.5 a 33.5 °C
Sat O₂ superficie	> 100%*	> 100%**	2 a 15 mg/l
Sat O₂ fondo	Hipoxia (20%) a anoxia*	Hipoxia (4%) a anoxia**	
Sal	Oligohalina (2 a 4 UPS)*	Oligohalina (2.2-3.7 UPS)**	0.0 a 7.6%
pH	ND	ND	5 a 9.7 unidades
Z_{DS}	0.5 m máximo*	0.25 m**	
Fosfatos, P-PO₄	ND	1.3 a 27.4 µM**	
PT	ND	4.9 a 80.6 µM**	
Amonio no-ionizado (N-H₃) mg/l	ND	ND a 124.6 µM**	0.150 a 0.980 mg/l
Alcalinidad	ND	ND	95 a 270 mg/l
Dureza	ND	ND	24 a 95 mg/l
Nitritos	ND	ND	0.018 a 0.135 mg/l
Nitratos	ND	ND	0.00 a 1.480 mg/l
NT	ND	21.4 a 250.0 µM**	
N:P	ND	0.6-6.8**	
DBO₅	ND	43.6-116 mg O ₂ L ^{-1**}	
DQO	ND	96-476 mg O ₂ L ^{-1**}	
Clorofila "a"	ND	96-156 mg m ^{-3**}	
FloreCIMIENTO	Sí, de cianofitas	Sí, de cianofitas**	
		<i>Aphonocopsa delicatissima</i> **	
	<i>Microcystis sp.*</i>	<i>Merismopedia punctata</i> **	
Especies dominantes	<i>Anabaena sp.*</i>	<i>Chroococcus dispersus</i> var. <i>Dispersus</i> **	
	<i>Spirulina sp.*</i>	<i>Raphidiopsis curvata</i> **	
		<i>Pseudanabaena limnetica</i> **	
Densidad celular	8000 cél. ml ^{1*}	> 100 000 cél. ml ^{1**}	
Trofismo	Eutrófico*	eutrófico-hipereutrófico**	
Saprobiedad	ND	α-a 13-mesosaprobiedad**	
Edwardsiella			
<i>E. tarda</i>	ND	ND	ND
<i>E. ictaluri</i>	ND	ND	ND
Aeromonas			
<i>Aeromonas sp.</i>	ND	ND	D
Pseudomonas			
<i>Pseudomonas sp.</i>	ND	ND	D
Francisella			
<i>Francisella sp.</i>	ND	ND	D
Streptococcus			
<i>Streptococcus sp.</i>	ND	ND	D
Mesófilicos aerobios (UFC/g)	ND	ND	224 000 a 570 000 (UFC/g)
Coliformes	ND	ND	D

Tabla 3. Pruebas paramétricas y no paramétricas de los parámetros físico-químicos (temperatura [°C], salinidad [%], oxígeno disuelto [mg/l], pH [unidades], alcalinidad [mg/l], dureza [mg/l], amonio [mg/l], nitratos [mg/l] y nitritos [mg/l], de julio a noviembre de 2012, en la Laguna de Tres Palos del municipio de Acapulco de Juárez, Gro., México.

Fuente: elaboración propia.

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Oxígeno Disuelto mg/l	Inter-grupos	106.923	4	26.731	2.054	.138
	Intra-grupos	195.217	15	13.014		
	Total	302.140	19			
Alcalinidad (mg/l)	Inter-grupos	17480.000	4	4370.000	7.600	.001
	Intra-grupos	8625.000	15	575.000		
	Total	26105.000	19			
Amonio (mg/l)	Inter-grupos	.386	4	.096	2.107	.131
	Intra-grupos	.687	15	.046		
	Total	1.072	19			
Nitrato N_NO3 (mg/l)	Inter-grupos	.701	4	.175	1.580	.231
	Intra-grupos	1.663	15	.111		
	Total	2.364	19			

Comparación múltiple de Scheffé

Variable dependiente: alcalinidad (mg/l)

Scheffé

(1) Meses	Sig.				
	(J) meses				
	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.
JUL.		.706	.004	.060	.706
AGO.	.706		.047	.479	1.000
SEP.	.004	.047		.631	.047
OCT.	.060	.479	.631		.479
NOV.	.706	1.000	.047	.479	

*La diferencia de medias es significativa al nivel .05.

Estadísticos de contraste^{a,b}

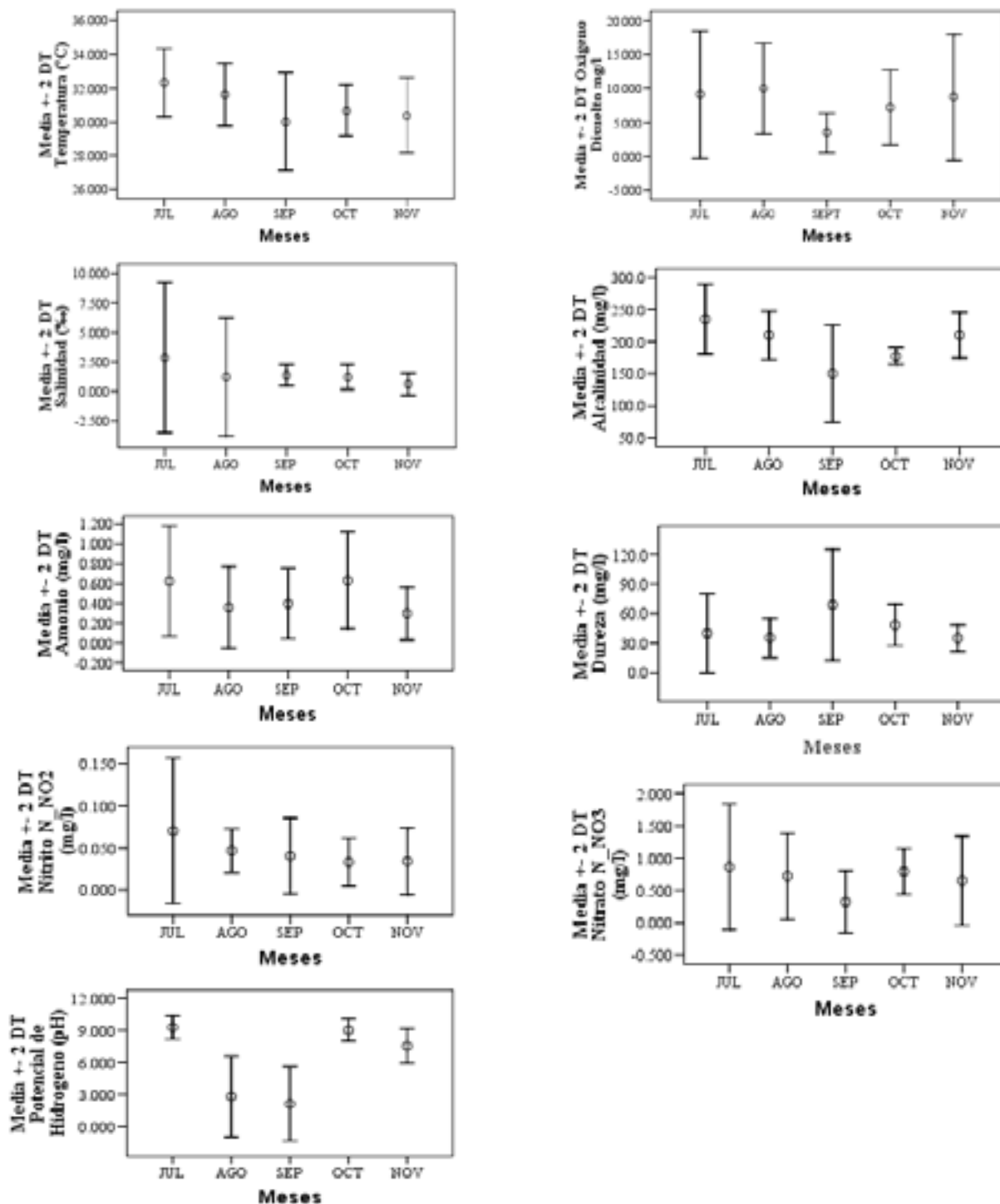
	Temperatura (°C)	Potencial de Hidrogeno (pH)	Salinidad (‰)	Dureza (mg/l)	Nitrito N_NO2 (mg/l)
Chi-cuadrado	8.375	16.357	7.096	8.159	4.638
gl	4	4	4	4	4
Sig. asintót.	.079	.003	.131	.086	.326

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Meses

Figura 2. Distribución mensual de los parámetros físico-químicos en el agua en las estaciones muestreadas de la laguna (temperatura [°C], salinidad [%], oxígeno disuelto [mg/l], pH [unidades], alcalinidad [mg/l], dureza [mg/l], amonio [mg/l], nitrato [mg/l] y nitritos [mg/l], de julio a noviembre de 2012, en la Laguna de Tres Palos del municipio de Acapulco de Juárez, Gro., México.

Fuente: elaboración propia.



CONCLUSIÓN

Estadísticamente, en general, los parámetros físico-químicos estudiados no presentan diferencias significativas que pudieran afectar la calidad del agua para la actividad acuícola del área, por lo que ésta es satisfactoria y cumple con los estándares establecidos por la Sagarpa. Dado que los niveles de oxígeno son óptimos en los meses muestreados para asegurar la vida de los organismos por la buena circulación de las corrientes, los desequilibrios que podrían darse en la concentración de algunos parámetros podrían deberse a situaciones puntuales como altas concentraciones de materia orgánica arrastradas por las lluvias, escorrentías o una alta densidad de peces en las jaulas de engorde durante un momento determinado. En general se puede considerar una zona apta para desarrollar cultivos de tilapia, ya que soporta características físico-químicas de mayores intervalos que otras especies.

Por otra parte, se cree que existe una gran contaminación causada por materia orgánica en suspensión, que se observó en el periodo de estudio, principalmente por aguas residuales que desembocan en la Laguna de Tres Palos, que genera la proliferación de nutrientes para microorganismos y algas en este cuerpo de agua. La presencia de la materia orgánica favorece la multiplicación de estos microorganismos y algas. Asimismo, se detectaron agentes infecciosos de tipo bacteriológico, particularmente en la parte que desemboca al mar como: *Aeromonas* (*Aeromonas hydrophila*, *A. caviae* y *A. sobria*), *Francisella*, *Pseudomonas*, *Streptococcus*, coliformes y mesofílicos aerobios. La causa posible son los asentamientos humanos y las descargas de aguas residuales del río La Sabana, así como el poco cuidado que se le da al agua por los mismos pobladores, quienes arrojan basura y desperdicios, originando una mayor contaminación.

Estas condiciones descritas han aumentado los cambios en cortos periodos de tiempo de las características físico-químicas y bacteriológicas del agua de la Laguna de Tres Palos, lo cual impacta de manera directa la producción de peces y particu-

larmente la tilapia, especie de mayor importancia de la actividad acuícola, y que, por tanto, afecta económicamente a la población, ya que la producción de este organismo ha ido en decremento a lo largo de los años. Además, este grave problema de contaminación afecta también la salud de los peces, los cuales son una de las principales fuentes de consumo de los pobladores, perjudicando la salud pública de las comunidades aledañas a la Laguna de Tres Palos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de un proyecto denominado “Diagnóstico socioambiental de las comunidades ribereñas de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México”, convenio firmado por la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro.) y Grupo Aeroportuario del Centro Norte, S.A. de C.V., a quienes se les agradece su apoyo en el financiamiento de la presente investigación. Asimismo, al Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Guerrero (Cosaeg), por la colaboración en el proyecto y facilidades para la realización de las pruebas bacteriológicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer, J. y E. Escobar (1993). “Morphometric Characteristics of Six Mexican Coastal-lakes related to Productivity”. *Revista de Biología Tropical*, 41(2), 171-179.
- Barrera-Huerta, R. (1975). “Contribución al conocimiento del plancton de la Laguna de Tres Palos, Guerrero”. Tesis de licenciatura. México: Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, p. 68.
- Criterios ecológicos de calidad del agua*. Publicados en el Diario Oficial de la Federación (1989, 13 de diciembre).
- Curry, J. R., J. Emmel y P. J. Crampton (1969). “Holocene History of a Strand Plain, Lagoonal Coast. Nayarit, Mexico”. En: A. Ayala Castañares y F. B. Phleger (eds.). “Lagunas costeras, un simposio”. *Men. Simp. Lagunas costeras*.

- México: UNAM/Unesco, 1967, 28-30 de noviembre, pp. 63-100.
- De la Lanza-Espino, G., J. Alcocer Durand, J. L. Moreno Ruiz y S. Hernández Pulido (2008). "Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México". México: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc), p. 11.
- Gaceta Parlamentaria (2002). LVI Legislatura de Guerrero; H. Congreso del Estado. Área: Presidencia. Oficio núm. p/287/2001. Disponible en: www.senado.gob.mx/content/pemammente/58/content/27/oficio_guerrero_laguna_tres_palos.html.
- Gobierno federal; Secretaría de Agricultura, Gadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) (2008). *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de tilapia para la inocuidad alimentaria de la Sagarpa*. Gobierno federal, p. 60.
- Jiménez-Guzmán, F. (2009). "Técnica de diagnóstico presuntivo para enfermedades de peces". Curso teórico-práctico. 13-16 de abril de 2009 (edición previa). Acapulco, Guerrero, México: Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Guerrero, A.C. (forma parte del libro *Técnica de diagnóstico presuntivo para enfermedades de peces*), pp. 15-24.
- Jiménez-Guzmán, F., H. Garza Fernández, F. Segovia Salinas, L. Galaviz Silva, F. Iruegas Buentello y J. M. Adame (1988). *Parásitos y enfermedades de la tilapia*. Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Publicación técnica núm. 3, pp. 64-85.
- Kemka, N., T. Njine, S. H. Cebase, S. F. Menbohan, M. Nota, A. Monkiedje, D. Niyitegeka y P. Campére (2006). "Eutrophication of Lake in Urbanized Areas: the Case of Yaoundé, Municipal Lake in Camaroon, Central Africa". *Lakes, Reservoirs and Management*, 11, 47-55.
- Mañón-Ontiveros, S. (1985). "Caracterización limnológica del sistema lagunar costero del estado de Guerrero, México". Tesis de licenciatura. México: Facultad de Ciencias de la UNAM, p. 151.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-027-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.
- Sevilla, Ma. L., E. A. Chávez, R. Ramírez-Granados y E. Hidalgo (1980). "Prospección ecológica de la Laguna de Tres Palos, Guerrero". *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, vol. xxii, 149-164.
- <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>.

Uso de la señalética para la educación ambiental del humedal “Laguna de Zapotlán”

J. Guadalupe Michel Parra,* Manuel Guzmán Arroyo, Héctor Cruz Michel Parra, Tomás Orendáin Verduzco, José Luis Cárdenas Ramos, José Raúl Montes de Oca Padilla y Ana Lizeth Íñiguez Chávez

RESUMEN

Los humedales son ecosistemas que cuentan con políticas internacionales de protección y conservación, los cuales aprovechan sus recursos naturales con criterios de sustentabilidad y derecho al descanso, así como recreación de una sociedad sensibilizada y orientada a la conservación de recursos naturales. *Objetivo general:* utilizar señalética para proteger, conservar y manejar sustentablemente los ecosistemas. *Metodología:* el trabajo es en la “Laguna de Zapotlán”, localizada en el estado de Jalisco; coordenadas: 19°27’13” latitud norte y 103°27’53” longitud oeste; mediante análisis descriptivo, transversal e interdisciplinario del Programa de Protección, Conservación y Manejo (PCYM) del humedal. *Resultados y discusiones:* La “Laguna de Zapotlán” se reconoce por su valor estético, paisajístico y ecoturístico, con fines educativos y concientización ambiental. Se realizaron 8 senderos interpretativos que conforman el parque temático-ecológico del humedal. *Conclusiones:* la “Laguna de Zapotlán”, sitio Ramsar, es apropiada para la educación e interpretación ambiental, y posee información veraz y oportuna sujeta a señalética normativa para ser interpretada por guías turísticos y visitantes.

Palabras clave: educación, señalética, Laguna de Zapotlán.

INTRODUCCIÓN

La “Laguna de Zapotlán” es epicontinental, endorreica, eutrófica, somera, cálida y posee una dimensión de 1300 hectáreas, así como una gran belleza paisajística, aguas alcalinas y duras, una gran biodiversidad de aves nativas, migratorias

y endémicas, una buena producción pesquera, de hortalizas, frutícola, artesanal y ganadera, además de un alto potencial ecoturístico, cultural, recreativo, educativo y didáctico (Michel Parra, J. G. y cols., 2013).

* Centro Universitario del Sur/Universidad de Guadalajara.
Autor para correspondencia; e-mail: michelp@cusur.udgmx.

El humedal es una laguna de importancia internacional, al ser considerada sitio Ramsar por su gran variedad de nichos ecológicos, faunísticos y florísticos, y por generar múltiples beneficios al ambiente por la producción de biomasa, por los aportes de nutrientes a la cadena alimentaria, por la infiltración de aguas a los mantos freáticos, porque alberga especies únicas en peligro de extinción y porque regula la temperatura y el ciclo hídrico de la región, entre otros muchos beneficios a la población (Michel Parra, J. G. y A. M. Guzmán, 2012).

Por lo cual se destaca la importancia ecológica, social, económica y cultural, y la política regional, estatal, nacional e internacional, ya que todo lo que pasa en la subcuenca repercute en el humedal y porque la laguna es la que permitirá que se dé una real integración de los municipios de la región sureste del estado en un objetivo común: la difusión de sus tradiciones y cultura, y el conocimiento de los recursos naturales susceptibles del aprovechamiento turístico ambiental.

Debido a los esfuerzos de gestión y vinculación entre investigadores, técnicos, autoridades y usuarios, se ha logrado una lenta pero eficiente recuperación de la laguna, al mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua y su cuenca.

Con el Plan de Ordenamiento Territorial y Ecológico, se definen las unidades de gestión ambiental, los usos potenciales y los vocacionamientos del suelo, y con el Plan de Manejo y Saneamiento Integral de la Laguna, se tienen cubiertas las acciones concretas de protección, conservación, rehabilitación, usos y sustentabilidad que el humedal requiere.

Se cuenta con los planes de Desarrollo Municipal, los planes parciales de los subdistritos y los reglamentos de Ecología Municipal, que garantizan el cumplimiento de los ordenamientos de planeación, desarrollo y sustentabilidad del humedal y su entorno (Michel Parra, J. G. y cols., 2012).

La “Laguna de Zapotlán” fue declarada humedal de importancia internacional y sitio Ramsar el

día 5 de junio de 2005 con número de registro 1466, siendo uno de los 138 humedales en el país y uno de los 2094 humedales designados en 165 países miembros de la Convención Ramsar actualmente (Michel Parra, J. G. y cols., 2011).

Los humedales son los únicos ecosistemas que cuentan con una política internacional de protección, la cual contempla la obligación de conservarlos, de aprovechar sus recursos naturales con criterios de sustentabilidad, de reconocer sus funciones ecológicas y servicios ambientales benéficos para la región, de usar y disfrutar sus atractivos turísticos y su belleza paisajística, y de poder realizar actividades ecoturísticas de bajo impacto en los ecosistemas existentes (Michel Parra, J. G. y cols., 2013).

Los humedales en el mundo son muy concurridos por sus atractivos turísticos y por el papel tan importante que juegan en la educación ambiental, ya que la interpretación ecológica induce a los individuos a valorar su entorno y modificar sus actitudes depredadoras, que son contrarias a la conservación y preservación de los ambientes naturales.

Los criterios para declarar a la “Laguna de Zapotlán” como sitio Ramsar y humedal de importancia internacional fueron:

1. Diversidad de especies y comunidades ecológicas vulnerables en peligro de extinción, amenazadas o en riesgo crítico.
2. Variedad de aves acuáticas, que sustenta de manera regular una población mayor a 20 000 aves acuáticas nativas, migratorias y endémicas.
3. Grandes volúmenes y variedad de peces, con zonas adecuadas para el desove, de beneficio alimentario a las rutas migratorias y de beneficio para la población (Convención Ramsar, 2009; Michel Parra, J. G. y cols., 2011).

La sustentabilidad se refiere a mantener el equilibrio de las relaciones de los seres humanos con el medio natural, logrando un desarrollo so-

cioeconómico mediante el avance de la ciencia, la tecnología, la cultura y las tradiciones locales, sin dañar el medio ambiente, esto es, debe haber una interacción armónica entre el medio ambiente, el capital económico y la participación de la comunidad, por lo que si faltara alguno de estos términos, no podríamos hablar de sustentabilidad.

El turismo sustentable es aquel que se preocupa por la conservación de las áreas naturales, de las cuales se disfruta en forma masiva. Es aquel que disfruta de los espacios de belleza paisajística, de actividades extremas y deportes acuáticos (remo y canotaje), de acercarse a los nichos ecológicos y ver su evolución, de compartir el hábitat con otras especies (Moreno, J., 2009).

La “Laguna de Zapotlán” es un sitio frágil, variado y múltiple, ya que se han identificado 52 especies de aves, las cuales corresponden a 12 familias, donde destacan: garzas, patos, pelícanos, aves playeras y otras especies representativas como: gallareta, ibis negros y garzones; de estas 52 especies, nueve se encuentran en categoría de riesgo como el pato zambullidor, el pato altiplanero, el pato golondrino, la cerceta de alas azules, la garza del tular, el águila aura, el halcón mexicano y otras en peligro de extinción (Michel Parra, J. G. y cols., 2013).

Se tiene el registro de la rana (*Rana megapoda*), especie endémica de importancia ecológica, económica y social local, que junto con el charal y el pescado blanco con ecotecnias específicas empiezan a tener resultados en su reproducción y producción pesquera (Michel Parra, J. G. y cols., 2011; 2013).

El humedal de importancia internacional sustenta un corredor faunístico natural, que proviene de Norte y Centroamérica; las aves migratorias son un caso específico. También se sustenta como un centro geográfico para la migración, protección y anidamiento de aves silvestres, así como centro de reproducción de mamíferos, peces, anfibios, crustáceos y reptiles, muchos de ellos con importancia biológica, económica y social, y algunos en ame-

naza o peligro de extinción (Michel Parra, J. G. y A. M. Guzmán, 2012).

El humedal es reconocido como un área cultural tradicional de los grupos indígenas nahuas de la región sur de Jalisco, con grandes valores culturales y cosmológicos. En el año 2011 fue sub sede de los XVI Juegos Panamericanos, en Guadalajara, en remo y canotaje (Moreno, J., 2009).

De acuerdo a la Unión Mundial para la Naturaleza, la conservación es la gestión para la utilización de la biósfera por el ser humano, de modo que se produzca el mayor y sostenido beneficio para las generaciones actuales, pero asegurando su potencial para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las generaciones futuras.

La conservación en la “Laguna de Zapotlán” comprende acciones destinadas a la preservación, el mantenimiento, el uso sostenido, la restauración y el mejoramiento del ambiente natural compatible con actividades recreativas, culturales, educativas y turísticas de bajo impacto ambiental (Convención Ramsar, 2009).

Entre las acciones para el saneamiento integral de la laguna, se pretende tener un diagnóstico preciso de los usos del agua, su dinámica y su balance hídrico; el análisis de su vulnerabilidad y de la calidad del agua, y el desazolve de escorrentías, canales y arroyos, tanto en zonas someras como en aguas superficiales y subterráneas.

Además de la conservación, el PCYM considera otras estrategias, acciones y políticas ambientales como: la restauración, la rehabilitación, el aprovechamiento y el desarrollo de tecnologías necesarias para el saneamiento integral de la laguna, que pueden y deben documentarse y difundirse para conocimiento de la sociedad en general (Convención Ramsar, 2009).

Dado el gran potencial turístico y de desarrollo regional de la zona de la laguna, donde la educación ambiental es entendida como una herramienta en el proceso de cambio profundo a largo plazo en los individuos y que incide en el desarrollo de sus habilidades y valores, para interactuar en su en-

torno sin depredarlo o destruirlo, es como se podrá crear un gran ejército de ciudadanos responsables y solidarios con su medio ambiente. Los humedales en el mundo son conocidos por sus recursos naturales, por el papel tan importante que juegan en los procesos de educación ambiental, y por la concienciación, reafirmación de valores y la generación de ciudadanos críticos y participativos, que a su vez nos lleven a formar una conciencia ciudadana.

De igual manera, son los únicos ecosistemas que cuentan con una política internacional de protección y la obligación de conservarlos, así como de aprovechar sus recursos naturales con criterios de sustentabilidad ambiental y el derecho al descanso y la recreación de una sociedad sensibilizada y orientada a la conservación de los recursos naturales locales (Convención Ramsar, 2009; Michel Parra, J. G. y A. M. Guzmán, 2012).

Objetivo general: usar la señalética en la educación ambiental para proteger, conservar y manejar los humedales.

Metodología: el presente trabajo se realizó en la cuenca de la “Laguna de Zapotlán”, localizada en la región sur del estado de Jalisco, entre las coordenadas: 19°27’13” latitud norte y 103°27’53” longitud oeste. Tiene un análisis descriptivo, transversal e interdisciplinario, acorde al PCYM de la “Laguna de Zapotlán” (Michel Parra, J. G. y A. M. Guzmán, 2012).

Resultados: desde 1992, la “Laguna de Zapotlán” es considerada una de las áreas prioritarias para la conservación de espacios naturales y paulatinamente se ha reconocido su valor estético, paisajístico y turístico con fines de educación ambiental (Michel Parra, J. G. y cols., 2011). Se aprobaron 8 senderos interpretativos, que conforman el parque temático-ecológico de la “Laguna de Zapotlán”: 1. Las Garzas, 2. Colores del Vuelo, 3. Espejos del Sur, 4. San Sebastián, 5. Los Cormoranes, 6. Ribera del Lago, 7. Sierra del Tigre-

Extremo y 8. Las Ecotecnologías. Lo anterior es sustentado por el diseño y ejecución del PCYM de la “Laguna de Zapotlán”, dentro del Subprograma de Gestión, con la respectiva señalética de los malecones y senderos con una extensión total de 36 km y con su respectivo reglamento. La rehabilitación de caminos obedece a diferentes tipos de materiales y tiene un perímetro total de 148 000 m². Se han establecido 18 santuarios de aves, análisis de monumentos históricos y el diseño del Centro de Atención de Visitantes (Cavi) con fichas de contenido conceptual, metodológico e interpretativo, además de señalética informativa, restrictiva y prohibitiva; asimismo, se determinó la capacidad de carga de visitantes a los sitios (figuras 1-4).

La interpretación ambiental es el entorno de la gente común, elemento articulador entre turismo y conservación, por lo que se convierte en la herramienta básica de la educación no formal y ocasional, del disfrute pleno de los ambientes y de la conservación de los espacios naturales (Convención Ramsar, 2009).

A los senderos interpretativos educativos en la “Laguna de Zapotlán” asisten aproximadamente 3640 personas registradas como turistas, más la comunidad de la región con una población de 150 mil personas (desde la sociedad común hasta estudiantes de preescolar, primaria, secundaria, preparatoria, licenciatura y posgrado de las poblaciones de Guadalajara y Colima, así como de los municipios de Sayula, Zapotlán el Grande, Gómez Farías, Amacueca, Tapalpa, Techaluta, Atoyac, Zapotiltic, Tamazula y Tuxpan, entre otros); además, dan atención a grupos y clubes privados de diversos sectores y organizaciones que lo soliciten.

Se cuenta con un área de información turística coordinada entre las presidencias municipales de Gómez Farías y Zapotlán el Grande, el Centro Universitario del Sur (Cusur) de la Universidad de Guadalajara y las dependencias federales, estatales y municipales, que apoya a maestros, investigadores, estudiantes, grupos, organizaciones y público en general para crear conciencia y educación am-

biental con respecto a la biodiversidad y la sustentabilidad del humedal, el cual cuenta con mapa de zonificación y usos (figura 5).

DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SENDEROS

Sendero Las Garzas

El corredor turístico Las Garzas es un camino de restricción vehicular, ya que es una zona de anidación y litoral importante de la ribera de la laguna menor del lago. Pasa por el monumento El Chacuaco, un área convencional de producción de hortalizas y alfalfa y un invernadero de agricultura intensiva hasta llegar a la Plaza Central La Playita (figura 6).

Descripción del sendero:

1. Introducción al sitio.
2. Destinatario.
3. Duración del recorrido.
4. Capacidad de asistencia.
5. Distancia a recorrer.
6. Contenido y tipo de conocimiento.
7. Recomendaciones para el visitante.
8. Recomendaciones para el guía (ficha técnica).
9. Transecto del sendero.
10. Reglas de operación.

Estaciones del sendero:

1. Inicio en el acceso sur del lago.
 2. Santuario Las Garzas.
 3. Monumento El Chacuaco.
 4. Santuario Los Cormoranes.
 5. Cultivos tradicionales e intensivos.
 6. Plaza Central La Playita.
- a) Letreros informativos.
 - b) Mensajes y comentarios de educación ambiental.
 - c) Equipamiento básico.



Figura 6. Sendero Las Garzas.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).

Sendero Colores del Vuelo

Es un sendero peatonal y acuático, ya que recorre el Sendero Las Garzas y el embarque en lancha desde el malecón La Playita, para realizar un recorrido por la ribera del lago con una duración de 50 minutos (figura 7).

Descripción del sendero:

1. Introducción al sitio.
2. Destinatario.
3. Duración del recorrido.
4. Capacidad de asistencia.
5. Distancia a recorrer.
6. Contenido y tipo de conocimiento.
7. Recomendaciones para el visitante.
8. Recomendaciones para el guía (ficha técnica).
9. Transecto del sendero.
10. Reglas de operación.

Estaciones del sendero:

1. Inicio en el acceso sur del lago.
2. Santuario Las Garzas.
3. Monumento El Chacuaco.



Figura 7. Sendero Colores del Vuelo.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).



Figura 8. Sendero Espejos del Sur.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).

4. Santuario Los Cormoranes.
5. Plaza Central La Playita y embarque en lancha por la ribera del lago.
6. Retorno a la plaza y traslado al acceso sur.
 - a) Letreros informativos.
 - b) Mensajes y comentarios de educación ambiental.
 - c) Equipamiento básico.

Sendero Espejos del Sur

Es un sendero peatonal y acuático de doble acceso, ya que recorre el Sendero Las Garzas y el Sendero San Andrés con embarque en lancha desde el malecón La Playita, para realizar 3 tipos de recorrido, según sea el gusto del grupo: básico, de 20 minutos; de anidación, de 30 minutos; y de ribera, de 50 minutos (figura 8).

Descripción del sendero:

1. Introducción al sitio.
2. Destinatario.
3. Duración del recorrido.
4. Capacidad de asistencia.
5. Distancia a recorrer.

6. Contenido y tipo de conocimiento.
7. Recomendaciones para el visitante.
8. Recomendaciones para el guía (ficha técnica).
9. Transecto del sendero.
10. Reglas de operación.

Estaciones del sendero:

1. Inicio en el acceso norte y/o sur del lago.
2. Santuario Las Garzas y/o Santuario San Andrés.
3. Monumento El Chacuaco.
4. Santuario Los Cormoranes.
5. Embarque en la Plaza Central La Playita.
6. Retorno a la plaza y traslado al acceso norte y/o sur.
 - a) Letreros informativos.
 - b) Mensajes y comentarios de educación ambiental.
 - c) Equipamiento básico.

Sendero San Sebastián

También llamado Sendero Las Gallaretas. Es un sendero peatonal que inicia en el acceso norte y recorre el malecón norte hasta el restaurante La Playita, en donde se ubica la plaza pública y el centro



Figura 9. Sendero San Sebastián.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).

con una cancha de voleibol playero, con gradas y zona gastronómica (figura 9).

Descripción del sendero:

1. Introducción al sitio.
2. Destinatario.
3. Duración del recorrido.
4. Capacidad de asistencia.
5. Distancia a recorrer.
6. Contenido y tipo de conocimiento.
7. Recomendaciones para el visitante.
8. Recomendaciones para el guía (ficha técnica).
9. Transecto del sendero.
10. Reglas de operación.

Estaciones del sendero:

1. Inicio en el acceso norte del lago.
2. Santuario Las Gallaretas.
3. Muelle norte.
4. Santuario Las Garzas.
5. Término en Plaza Central La Playita.
6. Retorno al acceso norte.

- a) Letreros informativos.
- b) Mensajes y comentarios de educación ambiental.
- c) Equipamiento básico.

Sendero Ribera del Lago

Es un sendero peatonal y vehicular, que inicia en el acceso norte y recorre la periferia del parque, pasando por monumentos históricos como el de Gómez Farías, el acueducto, la Hacienda de Cofradía y cinco santuarios de aves hasta llegar al puente “jorobado”, para conectar con el libramiento y pasar el camino por completar y llegar al acceso sur o conectar con la brecha “Los Ranchitos” de circulación vehicular y peatonal, para retornar al acceso norte y completar el circuito (figura 10).



Figura 10. Sendero Ribera del Lago.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).

Descripción del sendero:

1. Introducción al sitio.
2. Destinatario.
3. Duración del recorrido.
4. Capacidad de asistencia.
5. Distancia a recorrer.
6. Contenido y tipo de conocimiento.

7. Recomendaciones para el visitante.
8. Recomendaciones para el guía (ficha técnica).
9. Transecto del sendero.
10. Reglas de operación.

Estaciones del sendero:

1. Inicio en el acceso norte y/o sur del lago.
2. Centro acuícola.
3. Cerritos.
4. Acueducto.
5. Hacienda de Cofradía.
6. Santuario de águilas.
7. Área de carroñeros.
8. Santuario de queleles.
9. Santuario de buitres.
10. Santuario de zopilotes.
11. Santuario de ibis.
12. Puente “jorobado”.
13. Camino Los Pinos.
14. Crucero Ciclista.
15. Invernadero.
16. Aserradero.
17. Monumento al Ing. Juan J. Sánchez Aldana.
18. Término en el acceso norte y/o sur.

Sendero Sierra del Tigre-Extremo

Es un circuito vehicular que inicia en los accesos norte y sur, el cual recorre la periferia oriente del parque, pasando por la brecha “Los Ranchitos”, para conectar con la carretera federal y subir por el monumento al Ing. Juan J. Sánchez Aldana y recorrer las brechas forestales hasta llegar al Corralito y el Rodeo, para retornar al acceso norte y/o sur y completar el circuito (figura 11).

Descripción del sendero:

1. Introducción al sitio.
2. Destinatario.
3. Duración del recorrido.
4. Capacidad de asistencia.
5. Distancia a recorrer.
6. Contenido y tipo de conocimiento.



Figura 11. Sendero Sierra del Tigre-Extremo.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2010-2011).

7. Recomendaciones para el visitante.
8. Recomendaciones para el guía (ficha técnica).
9. Transecto del sendero.
10. Reglas de operación.

Estaciones del sendero:

1. Inicio en el acceso norte del lago.
2. La Fortuna.
3. El Rodeo.
4. El Corralito.
5. San Andrés.
6. San Sebastián.
7. Término en el acceso norte y/o sur.

- a) Letreros informativos.
- b) Mensajes y comentarios de educación ambiental.
- c) Equipamiento básico.

Sendero Las Ecotecnologías

Es un circuito peatonal que inicia en el acceso sur y recorre el malecón principal del parque (500 metros), pasando por el Centro de Investigación de la “Laguna de Zapotlán”, delimitada por 2 arcos-fuentes de acceso (figura 12).



Figura 12. Sendero de las ecotecnologías.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).

Descripción del sendero:

1. Introducción al sitio.
2. Destinatario.
3. Duración del recorrido.
4. Capacidad de asistencia.
5. Distancia a recorrer.
6. Contenido y tipo de conocimiento.
7. Recomendaciones para el visitante.
8. Recomendaciones para el guía (ficha técnica).
9. Transecto del sendero.
10. Reglas de operación.

Estaciones del sendero:

1. Tecnologías Alternativas.
 2. Energía Solar.
 3. Energía Eólica.
 4. Geotermia.
 5. Robótica.
 6. Estación Climatológica.
 7. Acuicultura Intensiva.
 8. Innovación Tecnológica.
- a) Letreros informativos.
 - b) Mensajes y comentarios de educación ambiental.
 - c) Equipamiento básico.



Figura 13. Circuito del lago, carreteras de intercomunicación, plazas de servicios y recuerdos del sitio.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).



Figura 14. Escuelas de remo y canotaje.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).



Figura 15. Ramada ecoturística La Playita.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).



Figura 16. Artesanías propias de la zona.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).

PLAZAS PÚBLICAS

Se proyectaron tres plazas públicas, de las cuales dos se han construido en su totalidad y una está en proceso de desarrollo. La primera es la Plaza de los XVI Juegos Panamericanos Guadalajara 2011, que cuenta con dos escuelas de remo y canotaje debidamente equipadas y un amplio escenario para eventos al aire libre, donde se tiene un escenario de belleza escénica que es la “Laguna de Zapotlán” y el Nevado de Colima; la segunda plaza es de tipo ecoturístico, gastronómico y recreativo con actividad artesanal y pesquera; y la tercera plaza está proyectada para actividades comerciales de productos pesqueros, agrícolas, pecuarios y artesanales de la región (figuras 13-16).

CIRCUITOS CARRETEROS, MALECÓN Y CICLOPISTA

Las vías de comunicación (accesos al humedal) son diversas: desde una ciclopista hasta corredores perfectamente definidos para la conexión con circuitos y brechas, donde los escenarios presentan diversas zonas de observación de aves, nichos ecológicos, bellezas escénicas, modos y formas de producción propios del ecosistema, y un tránsito fluido que demanda los servicios para buenas prácticas ecoturistas (figura 17).



Figura 17. Circuitos carreteros, malecón y ciclopista.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).

VÍA DE COMUNICACIÓN PARA LLEGAR AL HUMEDAL Y CIRCUITO INTERREGIONAL

La vía de comunicación para llegar al sitio Ramsar “Laguna de Zapotlán”, es por la autopista de cuatro carriles Guadalajara-Ciudad Guzmán-Colima, con una distancia de 100 kilómetros en promedio entre las dos capitales estatales. Dentro del humedal se cuenta con un circuito interregional, que conecta a San Sebastián y Ciudad Guzmán, así como a la laguna y a la Sierra del Tigre. Es un ecosistema versátil propio para el descanso y el ocio (figura 18).



Figura 18. Vía de comunicación para llegar al humedal y circuito interregional.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).



Figura 19. Equipamiento de mobiliario en los senderos.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).

EQUIPAMIENTO DE MOBILIARIO EN LOS SENDEROS

En esta área se encuentran distribuidas las palapas de control de ingreso al humedal por la parte norte y sur del lago, donde se maneja información y control básico; existe una distribución de botes de acopio de residuos (basura), además de bancas para descanso y ocio familiar, con distribución estratégica, donde se puede contemplar la biodiversidad del ecosistema, en el que abundan aves, peces, reptiles, anfibios, mamíferos silvestres y, sin duda, la belleza escénica de la laguna y su entorno (figura 19).

EQUIPAMIENTO DE LETREROS INFORMATIVOS

La señalética es fundamental para la información formal y ocasional del turista y de la sociedad en general, lo cual está sujeto a la normatividad de los sitios Ramsar y cumple con el Subprograma de Comunicación, Concienciación, Educación y Participación Pública (Cecop). En el humedal se encuentran distribuidas estratégicamente las señalizaciones informativas (Convención Ramsar, 2009) (figuras 20-21).



Figura 20. Equipamiento de letreros informativos educativos de observación de biodiversidad.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).



Figura 21. Equipamiento de letreros informativos educativos en biodiversidad.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2010).

CONTENIDO DE LETREROS EDUCATIVOS AMBIENTALES

Dentro de la información en el humedal, se requirió de 8 letreros específicos con mensajes de seducción subliminal para el cambio de conductas y malas prácticas en la comunidad en general (figuras 22 y 23).

DESECHOS	CONTAMINACIÓN
<p>MANTÉN TUS RESIDUOS SIEMPRE TAPADOS Y EN SITIOS VENTILADOS.</p> <p>NO TIRES TUS DESECHOS DEPOSITÁLOS EN TU CONTENEDOR.</p> <p>SEPARA Y RECICLA TUS DESECHOS NO LOS MEZCLES.</p>	<p>LA QUEDA DE PAPIOS AFECTA EL CAMBIO CLIMÁTICO.</p> <p>SI TRAEES TU MASCOTA RECOLE SUS EXCRETAS.</p> <p>LOS ENVASES DESECHABLES CONTAMINAN IRREMEDIABLEMENTE.</p>
RECURSOS NATURALES	EDUCACIÓN AMBIENTAL
<p>LA FLORA Y FAUNA DEL LAGO AMPLIACIÓN NUESTRO AMBIENTE.</p> <p>CUIDA TU LAGO POR TU BIEN Y POR LAS GENERACIONES FUTURAS.</p> <p>CONSERVAR LA NATURALEZA ES CONSERVAR TU VIDA.</p>	<p>EL AGUA ES VITAL NO LA DESPERDICIES.</p> <p>CUIDA TU LAGO TU SEGURIDA DABA.</p> <p>DALE VIDA A TU AMBIENTE. ADOPTA Y CUIDA UN ÁRBOL.</p>
CONVICCIÓN Y RECORDACIÓN	CONVICCIÓN
<p>CONVIVE CON TU FAMILIA FOMENTA LA INTEGRACIÓN FAMILIAR.</p> <p>ESTE LAGO ES TUYO COMPARTELO CON TU FAMILIA.</p> <p>APROVECHA TU TIEMPO LIBRE CAMINA O PRACTICA UN DEPORTE.</p>	<p>EL LAGO ES EL REGULADOR DEL CLIMA Y LA HUMEDAD DE LA REGIÓN.</p> <p>SI NO SOMOS CAPACES DE CUIDAR EL AGUA SEREMOS CAPACES DE VIVIR SIN ELLA.</p> <p>CONSERVA UNO DE ESTE ESPACIO. TU FOREVER PARTS DE EL.</p>

Figura 22. Contenido de letreros educativos ambientales.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2011).



Figura 23. Distribución de letreros informativos.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2010).



Figura 24. Vialidades propuestas.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2010).



Figura 25. Usos del suelo.
Fuente: Michel Parra, J. G. (2010).

USOS DEL SUELO Y VIALIDADES PROPUESTOS

Con base en el ordenamiento ecológico y territorial de la Subcuenca de Zapotlán, se han determinado 53 unidades de gestión ambiental (UGA) mediante las cuales se especifican los vocacionamientos y usos del suelo reglamentados, a los que se tienen que sujetar la sociedad y los usuarios para las buenas prácticas del capital natural de la Subcuenca de Zapotlán (Michel Parra, J. G. y cols., 2012) (figuras 24 y 25).

La persona que sea sorprendida maltratando, destruyendo o extrayendo el mobiliario de este sitio será consignada a las autoridades municipales	La persona que sea sorprendida molestando, lastimando o cazando los animales de este sitio será consignada a las autoridades municipales
Queda prohibido la quema o incineración de pastos, taleros y desechos agrícolas en el área o perímetro de este humedal	Está prohibida la pesca con cualquier tipo de stamya y la pesca con anzuelo solo para consumo personal.
Este circuito turístico es peatonal y de uso vehicular restringido solo para residentes.	Está prohibido el uso de lanchas y motos acuáticas con motores fuera de borda
Queda prohibido permanecer en este sitio fuera de los horarios establecidos	Este lago está en proceso de rehabilitación queda prohibido nadar en este lugar

Contenido de mensajes restrictivos.

CONCLUSIONES

La “Laguna de Zapotlán” cuenta con una señalética apropiada para la protección, conservación y manejo basado en la educación e interpretación ambiental; asimismo, cuenta con información veraz y oportuna mediante señalética capaz de ser interpretada por guías turísticos y visitantes, lo cual permite el rescate de la identidad cultural regional. Jalisco cuenta con una legislación y reglamentación en materia ambiental, pero no basta con tenerla, sino que hay que ponerla en práctica y denunciar, sancionar y revertir manejos inadecuados, obsoletos y nocivos, y cambiarlos por procesos sustentables como lo señala la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Leygepa). La vía para mejorar el grado de conciencia de los humedales, es la promoción del conocimiento y la educación que los usuarios tengan sobre ellos, así como experiencias relacionadas con la laguna, lo cual permitirá obtener actitudes favorables y comprometidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Convención Ramsar (2009). *Manual Ramsar núm. 6 para el uso racional de los humedales*. Programas Cecop 2009-2015, p. 52.
- Michel Parra, J. G. y A. M. Guzmán (2012). “Laguna de Zapotlán, sitio Ramsar número 1466, humedal de importancia internacional”. III Seminario Internacional sobre la Cuenca del Río Santiago. Retos y perspectivas de las áreas naturales protegidas. México: Ed. Universidad de Guadalajara, pp. 79-102.
- Michel Parra, J. G. y cols. (2011). *Lago de Zapotlán-Laguna de Zapotlán-Sitio Ramsar*. 2ª edición. Ciudad Guzmán, Jal.: Ed. Universidad de Guadalajara, p. 240.
- (2013). *Programa de Protección, Conservación y Manejo (PCM) de la Laguna de Zapotlán, sitio Ramsar, número 1466. Humedal de importancia internacional*. 1ª edición. México: Ed. Conanp., p. 155.
- (2012). “Situación del Plan de Ordenamiento Ecológico de la Subcuenca Laguna de Zapotlán”. *Recursos naturales y contaminación ambiental*. 1ª edición. México: Ed. UAIM., pp. 143-156.
- Moreno, J. (2009). “Lago-Laguna de Zapotlán el Grande: de cara a los Juegos Panamericanos de Guadalajara 2011, en los deportes de remo y canotaje”. III Congreso Internacional de Humedales Laguna de Zapotlán. Ciudad Guzmán, Jal.
- Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) (2005). *Manual de interpretación ambiental en áreas protegidas*. Belice, p. 54.

Artículo de investigación

Remoción de hidrocarburos policíclicos aromáticos de alto peso molecular mediante bacterias asociadas a sustancias húmicas

Guillermo Onofre Dolores¹; Estefanía Mireles-Morales¹; José L. Morales-Romero¹;
Evangelina Camacho Frías²; Josefina Barrera-Cortés^{1*}

RESUMEN

Los microorganismos son el elemento catalizador en los procesos de biorremediación, debido a que son considerados los responsables del proceso de transformación de contaminantes como son los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA). Debido a las características particulares de todo microorganismo, el descubrimiento de nuevas especies, así como su caracterización, es de gran interés, a fin de llevar a cabo una implementación eficiente de este tipo de procesos. El objetivo del presente trabajo fue aislar y evaluar la capacidad para remover HPA de bacterias aisladas de sustancias húmicas (SH), provenientes del estado de San Luis Potosí, México. De un total de 18 bacterias aisladas, en su mayoría gram (-), 15 generaron porcentajes de remoción de HPA superiores al 50%. Se asume que la inoculación de estas bacterias en los suelos contaminados, podría ser prometedora para la eliminación de HPA contenidos en suelos altamente impactados con este tipo de contaminantes.

Palabras clave: biorremediación, hidrocarburos policíclicos aromáticos, cepas nativas, sustancias húmicas.

1 Depto. Biotecnología y Bioingeniería. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Av. Instituto Politécnico Nacional 2508. Col. San Pedro Zacatenco. México 07360, D.F.

2 Laboratorio Nacional de Prevención y Control del Dopaje. Comisión Nacional del Deporte.

(*) Autor para correspondencia: Tel. (52) 55-5747 3800 ext. 4380/4388. E-mail: jbarrera@cinvestav.mx

1. INTRODUCCIÓN

Debido a su importancia comercial y capacidad de explotación a nivel industrial, los hidrocarburos del petróleo son considerados los principales contaminantes del suelo, aire y agua (Ballarin-Denti *et al.*, 1999; Kiem *et al.*, 2003). Aunque el gradual cambio climático se atribuye a las actividades antropogénicas (quema de combustibles), se asume que los derrames y fugas de petróleo durante los procesos de explotación, procesamiento y transporte son los factores que más han impactado en el medio ambiente (Simcik, Eisenreich y Lioy, 1999; Venkataraman *et al.*, 2002).

De las diferentes fracciones de hidrocarburos, se ha reportado que el grupo de HPA posee propiedades tóxicas cancerígenas para el ser humano. Por tanto y debido a su recalcitrancia, la Agencia de Protección al Ambiente (EPA), en Estados Unidos, regula actualmente 16 de estos hidrocarburos (Verdin, Lounès-Hadj Sahraoui y Durand, 2004). Para su remoción del medio ambiente, se han desarrollado diferentes tipos de tecnologías, de las cuales la biorremediación es de gran interés por considerarse una tecnología limpia y que permite el reúso del suelo.

La biorremediación es una tecnología donde la remoción de nutrientes es realizada mediante una flora microbiana, con la capacidad de integrar el contaminante a su material celular. La biorremediación puede llevarse a cabo por bioestimulación o bioaumentación. La bioestimulación consiste en adicionar nutrientes, agua y un donador de protones al sistema contaminado. En la bioaumentación, además de bioestimular el sistema contaminado, éste se inocula con microorganismos externos que posean la capacidad para remover contaminantes específicos (Boonchan, Britz y Stanley, 2000).

En la actualidad se conoce una gran variedad de microorganismos con la capacidad para degradar los hidrocarburos de tipo alifático (Vázquez-Duhalt, 2000). No obstante, en el caso de aquellos de estructura policíclica aromática y alto peso molecular (más de tres anillos bencénicos), la búsqueda

de nuevas cepas sigue en curso, debido a su alta recalcitrancia e hidrofobicidad (Juhász y Naidu, 2000). El objetivo del presente trabajo fue el aislamiento y caracterización de cepas asociadas a sustancias húmicas y la determinación de su capacidad para remover hidrocarburos aromáticos de entre 2 y 4 anillos bencénicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sustancias húmicas

Las SH utilizadas: ácidos húmicos (AH), leonardita en cristales (LC) y ácidos fúlvicos (AF), fueron donadas por la empresa mexicana Tecnología Especializada en el Medio Ambiente, S.A. de C.V. (TEMA), ubicada en el estado de San Luis Potosí, México.

2.2 Mezcla estándar de HPA

Los siguientes HPA: fenantreno ($C_{14}H_{10}$), antraceno ($C_{14}H_{10}$), fluoranteno ($C_{16}H_{10}$), criseno ($C_{18}H_{12}$) y benzo[*a*]pireno ($C_{20}H_{12}$), grado analítico, fueron adquiridos de la empresa Sigma Aldrich. Se prepararon 50 ml de una solución de los 5 HPA con 40 mg/l de cada uno; como disolvente se utilizó diclorometano grado cromatográfico.

2.3 Aislamiento de microorganismos hidrocarbonoclastas

2.3.1 Enriquecimiento de la flora microbiana asociada a las SH

El aislamiento de cepas tolerantes a hidrocarburos, se realizó por enriquecimiento con queroseno, adicionado a una concentración de 100 mg/l. Un gramo de cada SH (AH, LC y AF) fue adicionado por triplicado, bajo condiciones de esterilidad, en matraces Erlenmeyer de 125 ml con 30 ml de medio mineral (Rennie, 1981); los matraces fueron incubados durante 7 días a 30 °C y 150 rpm. Alícuotas de 100 µL de una dilución seriada de cada cultivo fueron plaqueadas en cajas Petri con agar nutritivo (o czapec), para su incubación a 30 °C durante tres

días. Las diferentes cepas identificadas son resembradas por estría cruzada, por duplicado, para su incubación a 30 °C. La pureza y crecimiento microbianos, se verifica cada 24 horas durante tres días para su posterior cultivo y almacenamiento en tubos de siembra a 4 °C.

2.3.2 Caracterización morfológica celular y colonial

La caracterización morfológica colonial se realizó por observación directa de las diferentes colonias aisladas, de acuerdo a Ramírez-Gama *et al.* (2001). La caracterización morfológica celular se efectuó por tinción de gram y observación al microscopio (microscopio Olympus CH30).

2.4 Remoción de HPA en cultivo líquido

2.4.1 Preparación del inóculo

Cada cepa aislada es propagada por duplicado en 30 ml de caldo nutritivo (matraz Erlenmeyer de 125 ml) a 30 °C y 150 rpm. Cuando el cultivo alcanza una concentración de 0.5 DO, la materia celular es recuperada en tubos Falcon por centrifugación del fermentado, a 8000 rpm durante 5 minutos (Centrifuge Beckman Coulter modelo Allegra X-22R). Los *pellets* son lavados con agua isotónica (solución al 0.85% de cloruro de sodio) esterilizada, mediante operaciones de agitación violenta en *vortex* (IKA) y centrifugación.

2.4.2 Remoción de HPA mediante cepas puras aisladas

El proceso de remoción de HPA, se llevó a cabo en matraces Erlenmeyer de 125 ml. En cada uno fueron adicionados, bajo condiciones de esterilidad, 0.5 ml de la solución de HPA previamente preparada (sección 2.2). Después de la evaporación del disolvente, bajo condiciones de esterilidad, 50 ml de medio de mineral fueron adicionados en cada matraz, así como el *pellet*, suspendido en medio mineral, correspondiente a cada una de las cepas

puras aisladas (sección 2.3.1). Los matraces fueron preparados por triplicado e incubados a 30 °C y 150 rpm durante 3 semanas. Como control se implementó un matraz con medio mineral adicionado con la mezcla de HPA.

2.4.3 Análisis de HPA residuales

La concentración de HPA fue monitoreada cada siete días por cromatografía de gases, previa extracción líquido-líquido con diclorometano como disolvente con base en el método EPA 550 (EPA, Método 550). Los HPA fueron recuperados por filtrado (membranas de nailon de 0.2 µm) y evaporación del disolvente; posteriormente fueron solubilizados en un volumen conocido de metanol (4 ml) para ser analizados (1 µL de muestra) por cromatografía de gases (cromatógrafo Perkin Elmer modelo Clarus 500, implementado con una columna Quadrex de 25 m, i.d. 0.53 mm y 1 µm de espesor de película). Se implementó un programa cromatográfico con gradiente de temperatura. Temperaturas del inyector y detector: 250 °C/280 °C. Gradiente de temperatura en el horno: de 60 °C (10 min) a 300 °C (8 min), con una pendiente de 4 °C/min. El porcentaje de hidrocarburos removido, se determinó con la siguiente ecuación (Boonchan, Britz y Stanley, 2000):

$$\%HPA_{residuales} = \frac{\text{Área del pico del compuesto} \times 100}{\text{Área del pico del control}}$$

2.5 Recuperación de la biomasa

El mosto de cada vial es vertido en tubos Falcon de 50 ml para su centrifugación a 8000 rpm durante 5 minutos y temperatura de 4 °C. El sobrenadante se desecha y la pastilla es lavada tres veces con 5 ml de agua destilada, para la eliminación de medio de cultivo y metabolitos adheridos a las células. La pastilla se resuspende en 1 ml de agua destilada y colectada en charolas de aluminio de peso conocido. La cantidad de biomasa se determina por diferencia de pesos, previa evaporación del agua a 40 °C durante 24 horas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Cepas aisladas de SH

Se aisló un total de 18 cepas tolerantes a los HPA: 5 de los AH; 5 de la LC y 8 de los AF. Esta baja variedad en género de cepas, se atribuye a la complejidad de las SH, conformadas principalmente por moléculas del tipo aromático (Tan, 2003). En el caso de los AF, el mayor número de cepas diferentes (8 cepas)

se atribuye a su origen y composición química. Es importante decir que los AH son principalmente de origen mineral, mientras que los AF son producidos a partir de materia orgánica (Rauthan y Schnitzer, 1981).

La morfología colonial y celular de las cepas aisladas crecidas en agar nutritivo y czapec, se presenta en la tabla 1, donde se observa el predominio de bacilos gram (-) cortos y delgados. Las cepas

Tabla 1. Morfología colonial y celular de cepas aisladas de las sustancias húmicas de San Luis Potosí.

Cepas	Morfología celular	Gram	Morfología colonial	Identificación por género
AH-1	Coco-bacilos	(-)	Medianas, planoconvexas, mucoides, forma irregular y de color salmón	<i>Pasteurella multocida</i>
AH-2	Bacilos cortos	(-)	Medianas, convexas, húmedas, forma irregular y de color rosa	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
AH-3	Levaduras		Medianas, convexas, forma circular y de color blanco	<i>Candida guilliermondii</i>
AH-4	Bacilos cortos	(-)	Grandes y medianas, acuminadas, forma circular y de color amarillo transparente fuerte	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
AH-5	Bacilos cortos	(-)	Medianas, convexas, forma circular y de color amarillo transparente claro	<i>Burkholderia</i>
LC-1	Bacilos cortos y delgados	(+)	Medianas, planoconvexas, forma circular y de color crema fuerte	<i>Listeria innocua</i>
LC-2	Cocos	(+)	Pequeñas, acuminadas, forma circular y de color crema claro	<i>Staphylococcus spp.</i>
LC-3	Bacilos cortos	(-)	Medianas, planoconvexas, forma circular y de color rosa transparente	<i>Pseudomonas cepacia</i>
LC-4	Bacilos largos y delgados	(-)	Pequeñas, planas, forma circular y blanquecinas	<i>Pasteurella spp.</i>
LC-5	Bacilos cortos	(-)	Medianas, convexas, húmedas y con pigmentación de color amarillo	<i>Klebsiella oxytoca</i>
AF-1	Bacilos cortos	(-)	Grandes, planas, húmedas, forma irregular y de color blanco	<i>Pantoeae spp. 1</i>
AF-2	Bacilos cortos	(-)	Pequeñas, planoconvexas, forma circular y transparentes	<i>Brucella spp.</i>
AF-3	Bacilos cortos	(-)	Pequeñas, planoconvexas, forma circular, húmedas y brillosas, y de coloración blanquecina	<i>Acinetobacter junii</i>
AF-4	Bacilos cortos	(+)	Medianas, planas, forma filamentosa y de coloración blanquecina	<i>Bacillus subtilis</i>
AF-5	Bacilos cortos y delgados	(-)	Medianas, convexas, forma circular, húmedas-brillantes y de color amarillo transparente	<i>Shigella spp.</i>
AF-6	Coco-bacilos	(+)	Pequeñas, planas, apariencia seca, forma irregular y de color blanco	<i>Bacillus cereus</i>
AF-7	Bacilos cortos	(-)	Grandes, planas, apariencia seca, forma de rizoide y de color amarillo oscuro	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
AF-8	Bacilos largos y delgados	(-)	Medianas, planoconvexas, forma circular, húmedas y de color amarillo	<i>Shigella spp.</i>

reportadas como altamente degradadoras de hidrocarburos son predominantemente del tipo gram (-) (Kaplan y Kitts, 2004), lo cual es congruente con los resultados aquí reportados. Por otro lado, la textura húmeda de la mayoría de las cepas aisladas e identificadas sugiere su capacidad para producir polisacáridos y, consecuentemente, su capacidad para hacer biodisponibles los contaminantes (Bustamante, Durán y Diez, 2012); la biodisponibilidad de contaminantes favorece su degradación.

Las cepas fueron identificadas dentro de los siguientes géneros: *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Candida*, *Klebsiella*, *Listeria*, *Pantoeae*, *Pasteurella*, *Shigella*, *Staphylococcus*, *Stenotrophomonas* y *Pseudomonas*, de los cuales la mayoría ya han sido reportados como degradadores de hidrocarburos (Timmis y Pieper, 1999). Por ejemplo, Juhasz y Naidu (2000) han reportado la degradación de antraceno (45%), fluoranteno (26%) y benzo[*a*]pireno (22%) mediante *Stenotrophomonas maltophilia*. Excepto en el caso del antraceno, estos porcentajes de remoción de HPA son inferiores a los obtenidos en nuestra investigación por el mismo género de cepa.

3.2 Remoción promedio de HPA

La figura 1 muestra los porcentajes de remoción promedio de HPA removidos por cada una de las cepas aisladas, a partir de cada una de las SH estudiadas. En esta figura, se observa un mejor desempeño de los AF para remover los HPA, con un porcentaje global (promedio del porcentaje de remoción de todos los HPA por todas las cepas) de $75.9 \pm 8\%$; le siguieron los AH con $69.9 \pm 11\%$ y, finalmente, la LC con $61.4 \pm 12\%$. Estos valores podrían atribuirse a la capacidad que mostraron algunas de las cepas aisladas para producir polisacáridos. Se ha reportado que éstos tienden a favorecer la biodisponibilidad de los contaminantes; no obstante, si ésta se lleva a cabo en altas concentraciones, la degradación de contaminantes podría verse afectada por inhibición del crecimiento microbiano (Mulligan, Yong y Gibbs, 2001). En el presente estudio, algu-

nas de las cepas asociadas tanto a los AH como a la LC, tendieron a producir una gran cantidad de polisacáridos desde las primeras 12 horas de cultivo.

De las 18 cepas aisladas, una de los AH (AH-2) y dos de la LC (LC-1 y LC-4), solo tres generaron porcentajes de remoción de HPA inferiores al 50%. Estos resultados sugieren que las cepas aisladas poseen una gran capacidad para degradar los HPA. Por otro lado, los altos porcentajes de remoción de los HPA validan el proceso de aislamiento de cepas por enriquecimiento, donde el contacto previo de las cepas nativas con queroseno conduce a la selección de cepas con la capacidad de remover los hidrocarburos de estructura compleja como los del tipo policíclico aromático (Mancera-López *et al.*, 2008).

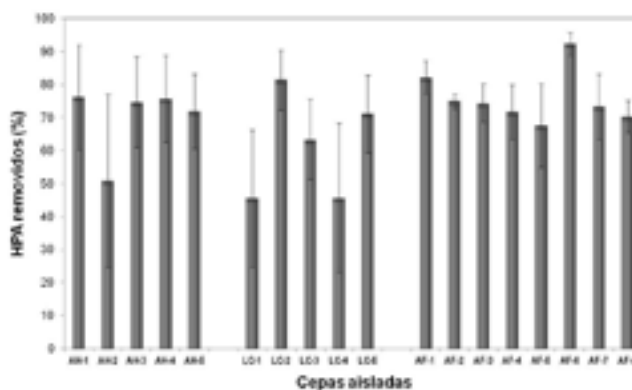


Figura 1. Porcentajes promedio de remoción de los diferentes HPA estudiados.

3.3 Porcentajes de remoción de los diferentes HPA

Las cepas aisladas de los AH y LC removieron preferencialmente el benzo[*a*]pireno y criseno en porcentajes promedio superiores al 83% (figuras 2 y 3). Con relación al fenantreno, antraceno y fluoranteno, solo la cepa LC-2 removió estos HPA en porcentajes superiores al 70%. Respecto a las cepas asociadas a los AF, no se observaron diferencias significativas con relación a su capacidad para remover los diferentes HPA (figura 4). Es importante destacar de este conjunto de cepas, que la identificada como AF-6 removió los diferentes HPA en porcentajes superiores al 90%. Esto podría explicarse por el origen de los AF, que de acuerdo con los

proveedores están producidos a base de residuos de madera, es decir, de material conformado por estructuras policíclico-aromáticas (Tan, 2003).

De acuerdo con la literatura, el nivel de degradación de los HPA dependerá de su peso molecular (Juhasz y Naidu, 2000). En el presente estudio, se esperaba remover en mayores porcentajes los tres primeros hidrocarburos mostrados en las figuras 2 y 3. No obstante, la remoción preferencial de los HPA de mayor peso molecular se atribuye al método de enriquecimiento aplicado para el aislamiento de las cepas aquí presentadas. Asumimos que la incubación de las SH adicionadas con queroseno realizó su tarea de selección de cepas, permitiendo la sobrevivencia de aquellas tolerantes a las 1000 rpm de queroseno adicionada. De acuerdo a lo reportado en literatura, el queroseno está conformado tanto por hidrocarburos alifáticos como aromáticos.

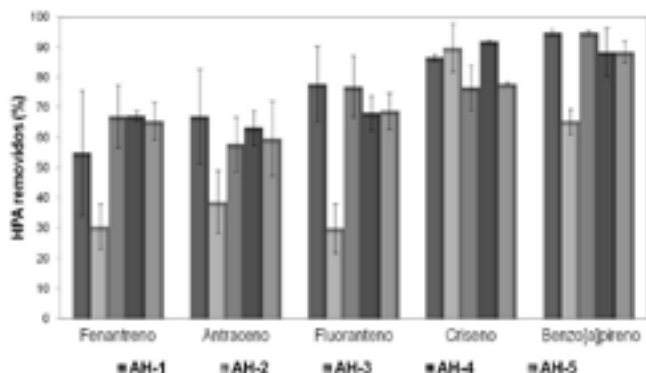


Figura 2. Remoción de los HPA seleccionados mediante las cepas asociadas a los AH.

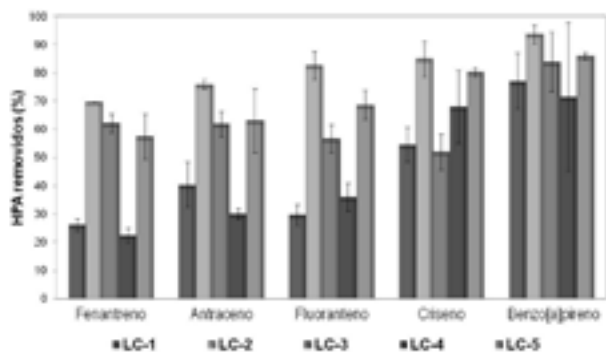


Figura 3. Remoción de los HPA seleccionados mediante las cepas asociadas a la LC.

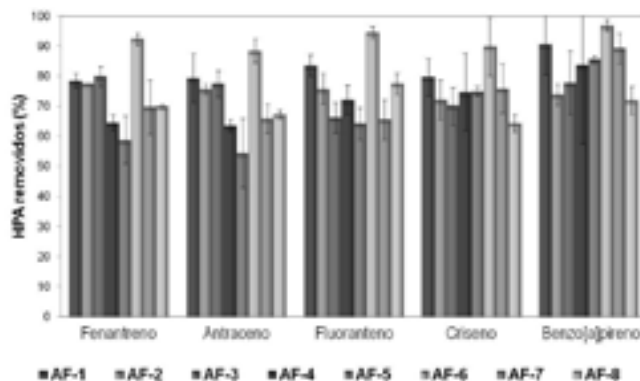


Figura 4. Remoción de los HPA seleccionados mediante las cepas asociadas a los AF.

CONCLUSIONES

Se aisló y caracterizó un total de 18 cepas hidrocbonoclastas asociadas a las sustancias húmicas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y leonardita en cristales. Debido a la capacidad de estas cepas para remover hidrocarburos del tipo policíclico aromático en porcentajes comprendidos entre 50% y 90%, su aplicación en los procesos de biorremediación podría ser prometedora para la recuperación eficiente de los suelos altamente impactados con este tipo de contaminantes. Finalmente, la capacidad para producir polisacáridos de la mayoría de las cepas aisladas es otra característica que podría ser de interés para la desorción de contaminantes recalcitrantes contenidos en suelos, incluso intemperizados.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto CB-2010-156837 financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). Asimismo, los autores desean agradecer el apoyo técnico del Sr. Cirino Rojas Chávez.

REFERENCIAS

- Ballarin-Denti, A., P. A. Bertazzi, S. Facchetti, R. Fanelli y P. Mocarelli (1999). *Chemistry, Man and Environment. The Severe Accident 20 Years on: Monitoring, Epidemiology and Remediation*. Elsevier, Oxford, UK.
- Boonchan, S., M. L. Britz y G. A. Stanley (2000). "Degradation and Mineralization of High Molecular-weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Defined Fungal-bacterial Cocultures". *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 1007-1019.
- Bustamante, M., N. Durán y M. C. Diez (2012). "Biosurfactants are Useful Tools for the Bioremediation of Contaminated Soil: a Review". *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12, 667-687.
- Juhasz, A. L. y R. Naidu (2000). "Bioremediation of High Molecular Weight Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: a Review of the Microbial Degradation of Benzo[a]pyrene". *International Biodeterioration & Biodegradation*, 45, 57-88.
- Kaplan, C. W. y C. L. Kitts (2004). "Bacterial Succession in a Petroleum Land Treatment Unit". *Applied Environmental Microbiology*, 70, 1777-1786.
- Kiem, R., H. Knicker, B. Ligouis e I. Kögel-Knabner (2003). "Airborne Contaminants in the Refractory Organic Carbon Fraction of Arable Soils in Highly Industrialized Areas". *Geoderma*, 114, 109-137.
- Lee, D. H., R. D. Cody, D. J. Kim y S. Choi (2002). "Effect of Soil Texture on Surfactant-based Remediation of Hydrophobic Organic Contaminated Soil". *Environment International*, 27, 681-688.
- Mancera-López, M. E., F. Esparza-García, B. Chávez-Gómez, R. Rodríguez-Vázquez, G. Saucedo-Castañeda y J. Barrera-Cortés (2008). "Bioremediation of an Aged Hydrocarbon-contaminated Soil by a Combined System of Biostimulation-bioaugmentation with Filamentous Fungi". *International Biodeterioration and Biodegradation*, 61, 151-160.
- Mulligan, C. N., R. N. Yong y B. F. Gibbs (2001). "Surfactant Enhanced Remediation of Contaminated Soil: a Review". *Engineering Geology*, 60, 371-380.
- Ramírez-Gama, R. M., B. Luna-Millán, O. Velázquez Madrazo, L. Vierna-García, A. Mejía-Chávez, G. Tsuzuki-Reyes, L. Hernández-Gómez e I. Müggensburg-Rodríguez (2001). *Manual de prácticas de microbiología general*. México: UNAM.
- Rauthan, B. S. y M. Schnitzer (1981). "Effects of a Soil Fulvic Acid on the Growth and Nutrient Content of Cucumber (*Cucumis sativus*) plants". *Plant and Soil*, 63, 491-495.
- Rennie, R. J. (1981). "A Single Medium for the Isolation of Acetylene-reducing (Dinitrogen-fixing) Bacteria from Soils". *Canadian Journal Microbiology*, 27, 8-14.
- Simcik, M. F., S. J. Eisenreich y P. J. Lioy (1999). "Source Apportionment and Source/Sink Relationships of PAHs in the Coastal Atmosphere of Chicago and Lake Michigan". *Atmospheric Environment*, 33, 5071-5079.
- Tan, K. H. (2003). *Humic Matter in Soil and the Environment. Principles and Controversies*. Athens, Georgia: Marcel Dekker, Inc.
- Timmis, K. N. y D. H. Pieper (1999). "Bacteria designed for bioremediation". *Trends Biotechnology*, 17, 200-204.
- Van Hamme, J. D., A. Singh y O. P. Ward (2003). "Recent Advances in Petroleum Microbiology". *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 67, 503-549.
- Vázquez-Duhalt, R. (2000). "Environmental Oil Biocatalysis". En: E. J. Olguín, G. Sánchez, G. y E. Hernández (eds.). *Environmental Biotechnology and Cleaner Bioprocesses*. Londres: Taylor and Francis Publishers, pp. 191-207.
- Venkataraman, C., G. Negi, S. B. Sardar, S.B. y R. Rastogi (2002). "Size Distributions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Aerosol Emis-

- sions from Biofuel Combustion”. *Air. Sciences*, 33, 503-518.
- Verdin, A., A. Lounès-Hadj Sahraoui y R. Durand (2004). “Degradation of Benzo[*a*]pyrene by Mitosporic Fungi and Extracellular Oxidative Enzymes”. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53, 65-70.
- Viñas, M., J. Sabate, M. J. Espuny y A. M. Solanas (2005). “Bacterial Community Dynamics and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Degradation during Bioremediation of Heavily Creosote-contaminated Soil”. *Applied and Environmental Microbiology*, 71, 7008-7018.

Propuesta de una red neuronal artificial para el pronóstico de la calidad del aire con base en PM_{10}

Jesús M. Carrera-Velueta,^{1*} Elizabeth Magaña-Villegas,² Sergio Ramos-Herrera,³
José R. Hernández-Barajas,⁴ José R. Laines-Canepa⁵ y Raúl G. Bautista-Margulis⁶

RESUMEN

El modelo de Red Neuronal Artificial (RNA) que se propone, fue diseñado para trabajar mediante un proceso de clasificación, agrupación y asociación de patrones (Claso) basado en la formación de *clusters* en tiempo real, para el pronóstico de variables ambientales. La RNA aprende a clasificar patrones, a partir de una base de datos históricos, y realiza este proceso de modo supervisado, usando como criterio las distancias entre ellos. Durante el aprendizaje se efectúa la creación de las neuronas (prototipos) que formarán la capa oculta y la actualización de su vector de pesos. Posteriormente, el modelo se actualiza en un modo no supervisado, agrupando nuevos patrones. Por último, la predicción se lleva a cabo al presentar un patrón con datos del tiempo actual para hacer la predicción a 24 horas. Este proceso se realiza mediante la identificación de los dos prototipos más cercanos al patrón y se asigna la clase establecida en los procesos anteriores.

Palabras clave: Red Neuronal Artificial, predicción, Claso, PM_{10} .

1 Maestro en Inteligencia Artificial.

* Autor para correspondencia: *e-mail*: jmcarrerav@gmail.com; Tel. (993) 337 9611, fax (993) 354 4308 ext. 6400.

2 Maestra en Ingeniería con especialidad en Sistemas Ambientales.

3 Maestro en Ingeniería y Protección Ambiental.

4 Doctor en Ciencias de la Ingeniería Química.

5 Doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales.

6 Doctor en Ciencias de la Combustión y Control de la Contaminación Ambiental.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, km 0.5 Carr. Villahermosa-Cárdenas, entronque Bosques de Saloya, C.P. 86039.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales que impacta la salud de la población y de los ecosistemas. Existen reportes que indican un incremento en la mortalidad, principalmente en individuos de la tercera edad con padecimientos respiratorios y cardiovasculares. En México, durante el periodo 2001-2005, la exposición a la contaminación atmosférica fue responsable de 38 mil muertes; de éstas, cinco mil eran de niños. La mortalidad debida a la contaminación atmosférica ocurre más frecuentemente en las zonas urbanas, donde seis de cada diez muertes sucedieron en las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Puebla y Toluca (INE, 2011). En particular, existen investigaciones que describen un incremento en la morbilidad o mortalidad asociada a la contaminación, principalmente por materia particulada de diámetro menor a 10 micrómetros, PM_{10} (Hernández-Cadena *et al.*, 2000).

En este sentido, desde 2010 se han realizado estudios para la ciudad de Villahermosa, que han permitido determinar el modelo de predicción de la contaminación atmosférica más eficiente. En este año, Baeza aplicó una RNA tipo *backpropagation* (propagación regresiva del error) a la predicción de PM_{10} , obteniendo alrededor del 50% de predicciones aceptables que, de acuerdo a referencias consultadas, asemejan a los resultados comúnmente mostrados por métodos estadísticos tradicionales (Baeza, 2010).

En 2012 se analizó esta problemática para la ciudad de Villahermosa con una visión preventiva, desarrollando cuatro modelos de pronóstico para la predicción al día siguiente de las concentraciones máximas de PM_{10} en la ciudad, usando dos modelos de series de tiempo y dos de RNA, concluyendo que el uso de estas últimas genera mejores pronósticos (Magaña *et al.*, 2012).

El uso de modelos de RNA se ha generalizado en diversos países del mundo con resultados satisfactorios. Spellman (1998) realizó la predicción de

concentraciones de O_3 en cinco ciudades del Reino Unido, comparando modelos de regresión lineal y una RNA tipo *backpropagation*. Elkamel *et al.* (2000) efectuaron la predicción de concentraciones de O_3 , a partir de variables meteorológicas sobre un área industrializada en Kuwait mediante modelos de RNA tipo *backpropagation*. Pérez y Reyes (2002) trabajaron en la predicción de los niveles máximos alcanzados del promedio móvil de PM_{10} del día siguiente en Santiago de Chile mediante una RNA. Ordieres *et al.* (2005) llevaron a cabo un estudio sobre $PM_{2.5}$ y O_3 en la frontera Estados Unidos-México, donde compararon diferentes RNA y modelos clásicos como de persistencia y regresión lineal. García *et al.* (2008) trabajó en la predicción de la concentración de O_3 máxima para el día de interés para la Zona Metropolitana de Guadalajara-México mediante el uso de una RNA.

La aplicación de este tipo de redes, en la mayor parte de los casos estudiados alrededor del mundo, requiere de un proceso del tipo ensayo-error, ya que se tienen que hacer muchos experimentos, durante la fase de entrenamiento, con el propósito de encontrar la topología adecuada de capas ocultas y de neuronas en cada capa oculta, que permita obtener los mejores resultados.

Esta investigación describe un modelo de RNA, que fusiona las fases de entrenamiento y validación del perceptrón multicapa, aprende en tiempo real, se autoorganiza y genera automáticamente los prototipos necesarios en su capa oculta, por lo que no se requiere el conocimiento a priori de este número para realizar una correcta clasificación de los patrones presentados para su construcción y aprendizaje. Esto le permite un funcionamiento óptimo durante el proceso de predicción de valores de concentración de contaminantes en la atmósfera. El modelo opera a partir de una base de datos históricos y el factor de aprendizaje para su construcción, y no requiere de gran capacidad de cómputo y excesivos tiempos de procesamiento. Una vez que el modelo ha sido construido y se pone en operación, puede modificar su estructura con la presentación

de nuevos patrones, lo que le permite mejorar el porcentaje de predicción. El objetivo en la presente investigación fue diseñar e implementar un modelo de RNA para el análisis de patrones para pronóstico de la calidad del aire con base en PM_{10} en la atmósfera en Villahermosa, Tabasco, y ha sido utilizado para procesar bases de datos de otros estados de la República Mexicana.

METODOLOGÍA

Se construyó una RNA para modelar y predecir la concentración diaria de PM_{10} en Villahermosa, Tabasco (Carrera, 2011). Posteriormente, se realizó un estudio de sensibilidad de la red frente a datos provenientes de diversas estaciones de monitoreo en la República Mexicana (De la Cruz y Solís, 2012) y también se comparó el desempeño de la red con otros tres modelos: autorregresivo, regresión lineal más modelo autorregresivo y la red *backpropagation* (Magaña *et al.*, 2012). La información se obtuvo de la base de datos del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica) y del Departamento de la Calidad del Aire de la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental (Sernapam) en Tabasco.

Construcción del modelo Claso

Para modelar y predecir la concentración diaria de PM_{10} del día siguiente, se recopilaron datos horarios de este contaminante criterio, así como de la temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento de dos estaciones de monitoreo de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, durante 2009. Los patrones de entrada para este caso fueron los máximos diarios de las variables meteorológicas, los promedios móviles de 24 horas (NOM-025-SSA1-1993), valores máximos y mínimos, y promedios diarios calculados a partir de los valores horarios de PM_{10} . De este modo, cada patrón presentado a la red consideró las condiciones de calidad del aire de, por lo menos, 48 horas previas a la de la predicción. Para los experimentos se contemplaron varias opciones para los patrones

de entrada: usar todas las variables mencionadas, emplear solo variables meteorológicas y utilizar solo valores de PM_{10} . También se realizaron experimentos usando patrones con datos normalizados y no normalizados.

Se programó el modelo de RNA con tres módulos de procesamiento: Clasificación, Agrupación y Predicción (Claso). En el módulo de Clasificación, la topología de la red se construye a partir de los patrones conformados por las bases de datos históricos mediante un proceso de clasificación de patrones. En esta fase inicial, la red solo tiene una capa de entrada con un número de neuronas igual al número de variables consideradas, no tiene capa oculta y tampoco tiene capa de salida, aunque se conocen las clases o categorías que serán asociadas a los patrones de entrada; es decir, los niveles de concentración de PM_{10} del día siguiente. Los prototipos en la capa oculta se generan a partir de la clasificación que se hace de los patrones mediante el cálculo de la distancia euclidiana entre ellos. El primer patrón genera el primer prototipo y, como consecuencia, el vector de pesos entre éste y la capa de entrada. El segundo patrón se clasifica en el prototipo inicial, si la distancia entre el patrón presentado y el vector de pesos del primer prototipo es menor al radio de clasificación; en caso contrario se genera un nuevo prototipo. El radio de clasificación es definido como cercano al valor de la distancia mínima calculada entre los patrones.

En el módulo de agrupación, la RNA construida se alimenta con nuevos datos obtenidos de la estación de monitoreo. El nuevo patrón no cuenta con el valor máximo de PM_{10} que se desea predecir, debido a que éste es registrado hasta el día siguiente. Así, en esta segunda etapa, la red realiza la tarea de agrupar el patrón de acuerdo a los prototipos y sus clases asociadas, creados en la etapa anterior. Las predicciones se comparan con el valor real observado al día siguiente y si el error en la predicción es mayor que el error cuadrático medio, entonces los pesos de la capa oculta se ajustan con la presentación de los patrones de la base histórica, adicio-

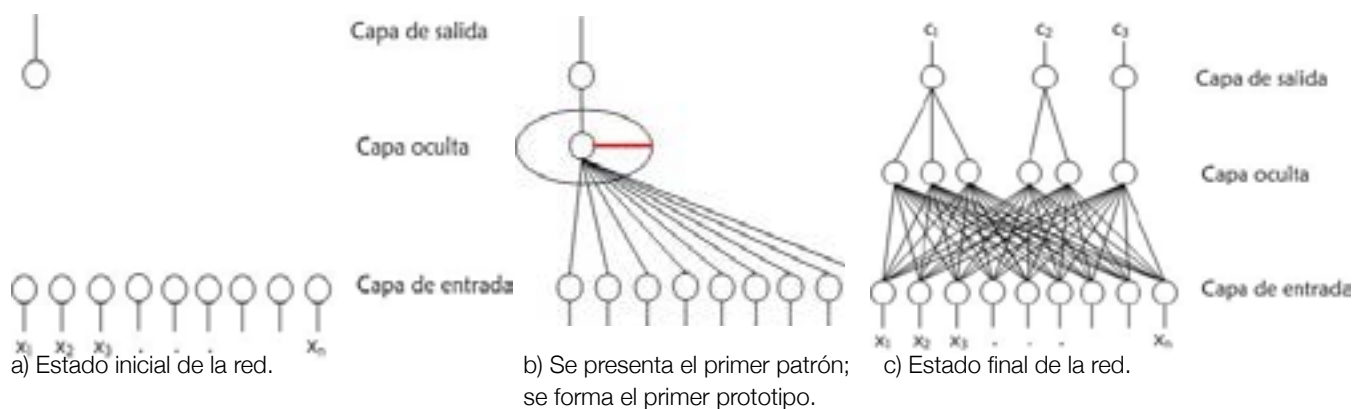


Figura 1. Proceso de construcción del modelo Claso.

nando el patrón del día presente, modificando así la estructura de la red, la cual es reconstruida de manera permanente para optimizar el proceso de predicción (figura 1).

Para evaluar el desempeño del modelo Claso, se consideraron el criterio estadístico del error cuadrático medio (RMS) y los parámetros inherentes al modelo como el factor de aprendizaje y el radio de clasificación. De igual manera, se consideró como indicador de desempeño relevante al modelo, el porcentaje de pronósticos aceptables (cuando el pronóstico no difiere en más de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este criterio fue definido considerando los efectos a la salud derivados de incrementos significativos en el contaminante, de acuerdo a la NOM-025-SSA1-1993.

Estudio de sensibilidad del modelo Claso

El estudio de sensibilización del modelo Claso, se realizó con datos de PM_{10} recopilados de 49 estaciones de monitoreo, correspondientes a 13 ciudades de la República Mexicana, en el periodo 2000-2009 (tabla 1). Los experimentos realizados incluyeron información de uno o varios años con datos no normalizados. El patrón de entrada incluyó promedios móviles de 24 horas para el caso de las PM_{10} (NOM-025-SSA1-1993). En la conformación de los patrones, se contemplaron los promedios móviles de las 0, 6, 12 y 18 horas, así como los valores máximo y mínimo diarios. Para cada experimento se obtuvo el error absoluto individual en la predicción, defi-

nido como la distancia que existe entre los datos reales y los valores predichos por el modelo Claso (De la Cruz y Solís, 2012). Se determinó la sensibilidad del modelo con respecto al radio inicial, factor de aprendizaje y cantidad de patrones para la construcción del modelo.

Determinación de eficiencia del modelo Claso

En esta etapa se comparó el desempeño del modelo Claso y de los otros tres modelos propuestos. Los datos base empleados para este propósito correspondieron a las concentraciones diarias de PM_{10} registradas en Villahermosa, Tabasco, entre el 11 de abril y el 11 de julio de 2009. Estos datos se dividieron en dos grupos: una serie de trabajo o de entrenamiento (11 de abril al 30 de junio) y una serie para la validación de los modelos (1 al 11 de julio). La serie de trabajo se empleó para estimar el orden y los parámetros del modelo autorregresivo y la serie de validación para comparar su eficiencia. El orden del modelo autorregresivo correspondiente, se identificó examinando el comportamiento de la función de autocorrelación muestral y la función de autocorrelación parcial de la serie de trabajo (Brockwell y Davis, 2002). Como criterios de comparación, se usaron el coeficiente de correlación, el porcentaje de pronósticos aceptables, el RMS y la desviación absoluta media (Magaña *et al.*, 2012).

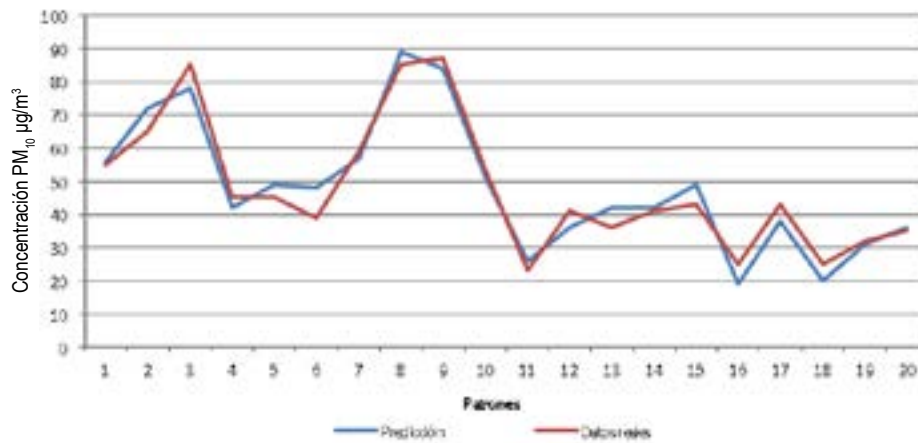


Figura 2. Resultados de la predicción del nivel de concentración de PM_{10} en Villahermosa (periodo 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 muestra la predicción obtenida con el modelo Claso y los valores observados en el periodo abril-junio de 2009 en Villahermosa, Tabasco. En este caso, las variables meteorológicas no influyeron significativamente en el aprendizaje de la red y fueron eliminadas, dejando como datos de entrada únicamente a los promedios móviles, así como los máximos y mínimos observados de las PM_{10} . Se obtuvo un porcentaje de pronósticos aceptables de la concentración diaria de PM_{10} (cerca del 70%) y un error cuadrático medio de $8 \mu g/m^3$. El análisis reveló que las mejores predicciones se asociaron con radios cercanos a la distancia mínima entre los patrones con datos normalizados. Se observó que el factor de aprendizaje y la normalización de los datos no influyeron en el rendimiento de la red.

La tabla 1 muestra los resultados del estudio de sensibilidad del modelo Claso con datos de diversas estaciones de monitoreo. De acuerdo a los resultados, en 27 de las 49 estaciones, los porcentajes de predicción fueron superiores al 60%, lo cual coincidió con el hecho de que en estos casos el tamaño de las bases de datos fue grande (superior a

los 600 registros) y el porcentaje de datos faltantes fue bajo. El valor máximo (72.1%) se asoció con la estación SER de Puebla y el mínimo (35.7%), con la estación TLI del Valle de México. De nuevo se observó que la normalización de los datos y el factor de aprendizaje no influyeron significativamente en el proceso de predicción, ya que en la mayoría de los casos las predicciones no mejoraron. Otra característica importante de estos resultados es que aun cuando el modelo presentó un buen porcentaje de predicción, el valor del RMS se considera grande, ya que estudios efectuados en tres megaciudades de Latinoamérica demostraron que incrementos de $10 \mu g/m^3$ en PM_{10} ocasionan incrementos en la tasa de morbilidad y mortalidad, aun cuando se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos en cada país (Lacasaña-Navarro, Aguilar-Garduño y Romieo, 1999).

En la figura 3 se puede observar la proximidad entre los valores predicho y observado de las PM_{10} registradas en la estación NIN de la ciudad de Puebla, y aunque su porcentaje de predicción (68.4%) está cercano al valor máximo, tiene un RMS aceptable.

Tabla 1. Predicciones del modelo Claso para PM_{10} con datos del periodo 2000-2009.

Red de monitoreo	Estación	% predicción	RMS	Red de monitoreo	Estación	% predicción	RMS	
Guadalajara	MIR	54.0	20.6	Monterrey	CE	56.4	22.5	
	OBL	59.2	13.4		NO	53.5	24.2	
	TLA	63.6	16.7		SE	63.2	16.0	
	VAL	67.6	10.8		SO	51.4	22.7	
Valle de México	CES	62.0	17.8	Puebla	TE	52.1	24.7	
	IZT	64.0	14.3		ASTA	68.7	17.6	
	LVI	58.0	16.0		NIN	68.4	12.0	
	MER	65.5	14.3		SER	72.1	16.5	
	PED	69.3	13.3	TEC	64.6	12.7		
	PLA	62.5	14.1	Salamanca	CR	58.3	20.5	
	SAG	66.7	14.1		DIF	60.5	17.6	
	SUR	66.4	13.6		NAT	53.9	16.7	
	TAH	60.8	14.8	Celaya	SJN	61.3	14.3	
	TAX	61.6	13.9		León	CICEG	56.2	23.8
	TLA	61.4	17.7	FM		60.8	15.2	
Toluca	TLI	35.7	10.0	Irapuato	T21	59.9	13.6	
	VIF	53.6	17.2		BOM	61.1	14.2	
	XAL	46.7	21.1	SEC	66.8	15.5		
	AP	57.8	21.3	TEO	61.1	15.9		
	CE	62.2	18.9	Mexicali	UABC	44.0	24.3	
	CIUDAD	51.0	27.8		SL	60.4	14.9	
	MT	58.3	18.3	Rosarito	ROS	48.8	24.2	
	OX	62.6	16.7	Tijuana	MESA	54.4	15.0	
	SC	45.8	26.5					
	SL	60.7	20.9					
	SM	59.4	19.4					

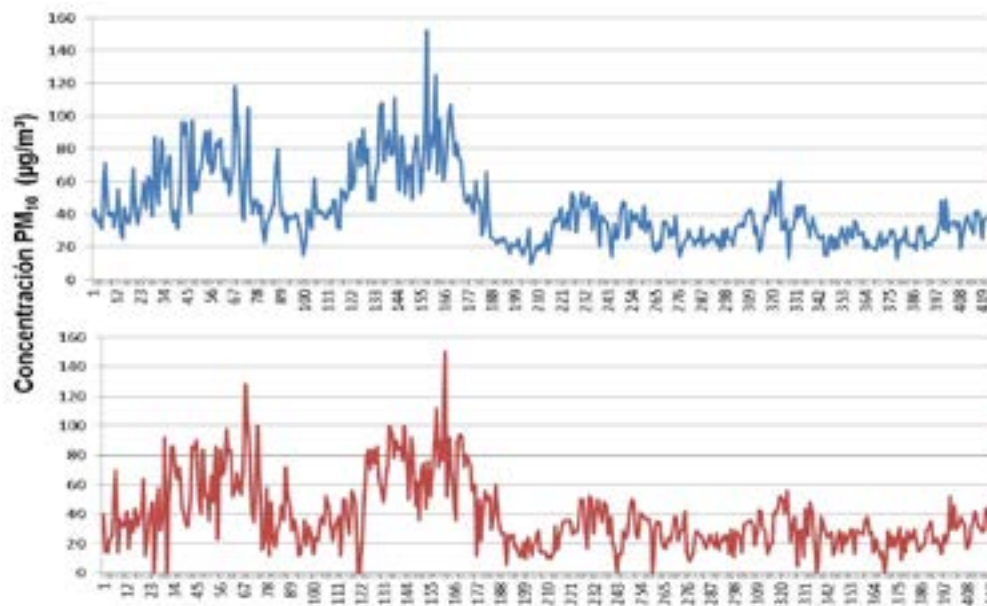


Figura 3. Predicción de la RNA para Puebla, estación NIN (periodo 2000-2009).

Otro resultado importante del estudio de sensibilidad del modelo Claso fue que el porcentaje de predicción mejoró, siguiendo un comportamiento logarítmico, al aumentar la cantidad de patrones;

sin embargo, se pudo observar que el modelo llegó a un límite en el que este porcentaje no superó el 70%, aun cuando se incrementara el número de patrones en la base de datos.

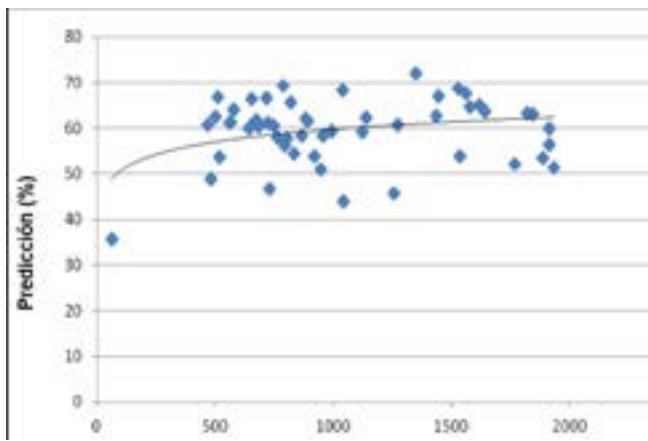


Figura 4. Correlación entre la cantidad de patrones y el porcentaje de predicción.

La tabla 2 resume los valores de los índices asociados a los cuatro modelos que se obtuvieron para concentración diaria de PM_{10} en Villahermosa. Puede notarse cómo el porcentaje de predicción del modelo Claso es superior al de los otros tres modelos, además de que existe una correlación fuerte entre sus valores observados y predichos. Es cierto que también tiene los valores más bajos del RMS y de la desviación estándar; sin embargo, dado que estos índices son más o menos del mismo orden para los cuatro modelos, se deduce que el desempeño se puede evaluar solo en función del porcentaje de predicción y del coeficiente de correlación. En general, puede decirse que los cuatro índices califican a Claso como el mejor modelo, pero no sucede lo mismo cuando se busca el modelo que mejor se desempeña de los tres modelos restantes, pues mientras un índice lo califica como bueno, el otro no necesariamente hace lo mismo. Tómese por ejemplo el caso del modelo de regresión lineal, y aunque su porcentaje de predicción es relativamente más alto, su coeficiente de correlación no es el mayor.

Esto sugiere la posibilidad de integrar otros índices para reforzar el criterio de evaluación en torno al desempeño del modelo.

CONCLUSIONES

El modelo de RNA Claso fue desarrollado mediante

Tabla 2. Comparación de Claso con otros modelos.

Modelo	% pre-dicción	Error cuadrático medio	Desviación absoluta media	r^2
AR(2)	29	8.33	6.52	0.716
Regresión lineal + AR(2)	43	7.02	5.3	0.750
<i>Backpropagation</i> (una capa)	36	6.34	4.5	0.829
Clasificación y formación de clusters	73	4.66	3.55	0.911

técnicas de reconocimiento y asociación de patrones, para la predicción de concentraciones máximas al día siguiente de contaminantes atmosféricos. Este modelo no requirió de excesivos tiempos de procesamiento para su aprendizaje y fue sensible a la cantidad de patrones utilizados en su construcción y fue más eficiente cuando el número de patrones fue mayor a los 600 patrones. Sin embargo, el porcentaje de predicción llegó hasta un punto en el cual no superó el 70%, aun cuando la cantidad de datos siguió aumentando. El error cuadrático, en la mayoría de los casos, fue más grande de lo esperado y se atribuyó a la existencia de eventualidades atmosféricas que el modelo no pudo identificar.

El radio inicial mejora la predicción del modelo cuando este parámetro está cerca a la distancia mínima entre los patrones. De igual manera, se observó que la normalización de los datos y el factor de aprendizaje no influyen significativamente en el proceso de predicción.

Actualmente se está trabajando con el modelo, experimentando otras métricas para el cálculo de la distancia como: la Manhattan, la Minkowski y la distancia logarítmica. Se planteó la aplicación de técnicas de filtrado para mejorar el rendimiento del modelo usando filtros de Kalman, así como la aplicación del mismo a la predicción de otros contaminantes.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por el apoyo a través del Programa de Fomento a la Investigación y Consolidación de los Cuerpos Académicos (PFICA 2010).

BIBLIOGRAFÍA

- Baeza, M. S. (2010). “Predicción de la calidad del aire con base en PM_{10} en Villahermosa, Tabasco, mediante la aplicación de redes neuronales artificiales”. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Brockwell, P. J. y R. A. Davis (2002). “Introduction to Time Series and Forecasting”. *Springer*.
- Carrera, J. M. (2011). “Propuesta de una red neuronal autoorganizada con aprendizaje en tiempo real para la predicción de la calidad del aire con base en PM_{10} en Villahermosa, Tabasco”. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana.
- De la Cruz, A. G. y S. D. Solís (2012). “Estudio de sensibilidad del modelo de red neuronal artificial Claso para la predicción de calidad del aire con base en PM_{10} y O_3 en la República Mexicana”. Tesis de licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Elkamel, A., S. Abdul-Wahab, W. Bouhamra y E. Alper (2001). “Measurement and Prediction of Ozone Level around a Heavily Industrialized Area: a Neural Network Approach”. *Advances in Environmental Research, Elsevier Science Ltd*, 47-59.
- García, I. (2008). “Pronóstico de la concentración de ozono en Guadalajara-México usando redes neuronales artificiales”. *Información Tecnológica*, 19(3), 89-96.
- Hernández-Cadena, L., M. M. Téllez-Rojo, L. H. Sanín-Aguirre, M. Lacasaña-Navarro, A. Campos e I. Romieu (2000). “Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua”. *Salud Pública Mexicana*, 42, 288-297.
- Instituto Nacional de Ecología (2011). *Cuarto almanaque*. Disponible en: http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=652 (Consulta: 26/11/2012).
- Lacasaña-Navarro, M., C. Aguilar-Garduño e I. Romieu (1999). “Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina”. *Salud Pública Mexicana*, 41, 203-215.
- Magaña, E., J. M. Carrera, S. Ramos, J. R. Hernández, R. G. Bautista, J. R. Laines y A. Valdez (2012). “Modelos de pronósticos de calidad del aire con base en PM_{10} en Villahermosa, Tabasco”. *Perspectiva científica desde la UJAT: compilación de investigaciones científicas*, tomo 1. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 253-257.
- Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993.
- Ordieres, J. B., E. P. Vergara, R. S. Capuz y R. E. Salazar (2005). “Neural Network Prediction Model for Fine Particulate Matter ($PM_{2.5}$) on the US-Mexico Border in El Paso (Texas) and Ciudad Juárez (Chihuahua)”. *Environmental Modelling and Software*, 20(5), pp. 547-559.
- Pérez y Reyes (2002). “Prediction of Maximum of 24-h Average of PM_{10} Concentrations 30 h in Advance in Santiago, Chile”. *Atmospheric Environment*, 36, 45, 55-61.
- Spellman, G. (1999). “An Application of Artificial Neural Networks to the Prediction of Surface Ozone Concentrations in the United Kingdom”. *Applied Geography*, 19, 123-136.

Avance de investigación

Percepción de la comunidad de Barra Vieja sobre la contaminación de la Laguna de Tres Palos, en Guerrero

V. López,^{1*} G. Toache, J. López, S. García, J. I. Benítez, A. Juárez y M. Rivas²

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo abordar el problema de contaminación del agua en la Laguna de Tres Palos, en el municipio de Acapulco, Guerrero, considerando la visión perceptiva de los pobladores de la comunidad de Barra Vieja, la cual se encuentra aledaña al cuerpo de agua. La metodología utilizada fue cualitativa y cuantitativa, aplicando una encuesta que contenía 46 preguntas a una muestra de 93 personas, en la cual se incluía lo siguiente: datos generales, datos socioeconómicos, hábitos de consumo, percepción de la contaminación, hábitos socioculturales en relación a la laguna y aspectos de salud pública. Se pudo constatar que las actitudes de los pobladores encuestados hacia el problema de contaminación de la laguna son utilitaristas, es decir, existe poca conciencia hacia la problemática con visibles deterioros en sus recursos naturales, además de existir un alto conformismo y poca creatividad de los habitantes para generar alternativas de solución.

Palabras clave: percepción ambiental, contaminación, ambiente.

1 Posdoctorante en el Posgrado de Economía Social de la Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Iztapalapa (UAM-I)

2 Unidad Académica de Ciencias Ambientales/Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro), Carr. Cayaco Puerto Marqués, Campus LLano Largo; Tel (744) 1724473

* Autora para correspondencia; *e-mail*: vania.190580@gmail.com.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los estudios realizados acerca de la contaminación de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, hacen referencia al impacto de la contaminación, sobre todo para uso recreativo y de acuacultura, al ser uno de los centros turísticos más visitados. Por otro lado, los estudios e investigaciones socioterritoriales a nivel microrregional han cobrado mucha importancia en la actualidad, debido a que las instancias oficiales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realizan generalmente investigaciones en espacios y áreas geográficas más amplios. De las comunidades más pequeñas, como es el caso de Barra Vieja, Guerrero, en la práctica solamente la realizan mediante los censos nacionales, otorgando información cuantitativa de éstas exclusivamente cada diez años. Este trabajo tiene pertinencia al tratar de explicar el impacto de la contaminación en dicha laguna, así como efectuar un estudio cuantitativo y cualitativo de los daños ambientales provocados por el hombre en su interacción con el medio ambiente, en donde se analicen los principales usos y costumbres de una de las comunidades ribereñas aledañas (Barra Vieja) más cercanas al cuerpo de agua.

El sustento teórico de este trabajo se basa en el análisis de las siguientes categorías pertenecientes a la *percepción ambiental*: actitudes ambientales, conformidad, creatividad y representación social, las cuales dan orden y sustento teórico a la investigación realizada, conceptos que se encuentran incorporados en el marco teórico del paradigma del desarrollo sustentable.

La configuración del desarrollo sustentable

El concepto *desarrollo sustentable* implica diversas acepciones, que en muchas ocasiones se encuentran totalmente contrariadas. Generalmente se asocia el crecimiento económico con el paradigma del desarrollo sustentable; no obstante, son términos contradictorios. Mientras que el primero incluye calidad de vida y desarrollo humano, el segundo hace referencia únicamente a indicadores macroeconó-

micos, que no impactan de manera sustancial en las condiciones de vida de la población.

Además, habría que señalar que la comprensión del desarrollo sustentable es diferente en los países desarrollados y en los subdesarrollados. Por un lado, los primeros han avanzado no solo en el conocimiento del mismo, sino en la implementación de políticas concernientes en disminuir el deterioro ambiental, no obstante que muchas de éstas son criticables, ya que nos encontramos en un mundo globalizado, en donde las decisiones tomadas en los centros afectan directamente a las periferias, y los consensos internacionales en las diferentes cumbres y acuerdos llevados a cabo, en la mayoría de las ocasiones no incluyen la participación ciudadana y de los países subdesarrollados. Por tanto, en naciones como México, y de forma particular en estados de la república como Guerrero, en donde la pobreza es la principal característica, la preocupación por el medio ambiente es aún incipiente. Comunidades como Barra Vieja son el claro ejemplo de que no solo basta con las buenas intenciones de los gobiernos y los acuerdos llevados a cabo, ya que en zonas urbanas del propio territorio nacional, los servicios básicos públicos no están cubiertos como: drenaje y energía eléctrica, seguridad social, salud pública, educación y servicios de saneamiento básico. En comunidades como la que se analizó, estos factores son apenas deseables por la población, e incluso en muchos casos no llegan a ser siquiera elementos considerados como parte de su contexto.

Por tanto,

al hablar del paradigma del desarrollo sustentable interesa abordar los problemas sociales, económicos y ecológicos con un enfoque integral, holístico y de largo plazo —lo que obliga a incorporar la incertidumbre como variable—; sin embargo, el término es utilizado de manera muy arbitraria y hasta contradictoria, pues algunos lo utilizan para referirse a un crecimiento económico ilimitado sobre una base material —medio ambiente y recursos naturales— finita, lo que resulta absurdo; y además, el discurso del desarrollo sustentable pocas veces trasciende a la práctica (López, 2007).

El consenso en torno a la necesidad de incorporar la variable ambiental en la definición de un modelo de desarrollo, surgió a raíz de la crisis de las décadas de los sesenta y setenta, cuando la problemática ambiental se convirtió en una amenaza no solo para el desempeño económico, sino para el funcionamiento mismo de la sociedad, pues los niveles de pobreza resultaban alarmantes. La publicación en 1971 del *Informe de Meadows*, del Club de Roma, sobre los “Límites del crecimiento”, puso contra las cuerdas al “crecimiento económico”, el cual ocupaba un lugar central dentro de los discursos de los gobiernos y autoridades. Este informe subrayaba la inviabilidad del crecimiento permanente de la población y su consumo: el crecimiento exponencial solo podía darse de manera transitoria en el mundo físico (Naredo, 2001).

No obstante, de manera casi simultánea pero desde una perspectiva menos catastrofista, a partir de las décadas de los ochenta y noventa, cuando el *shock* petrolero —precio del petróleo a nivel mundial comenzó a abarataarse—, así como el costo de las materias primas también bajaron su precio, la preocupación por los daños al medio ambiente tomó otro camino, e incluso las empresas iniciaron campañas importantes para lavar su imagen y la de sus productos —lavado verde— (Naredo, 2001). El uso del término “desarrollo sostenible” comenzó a utilizarse en los discursos con mayor ahínco, pero la utilización de mayores recursos naturales, energía y el desecho de residuos sólidos iba en aumento, y las diferencias en la distribución de la riqueza entre los países desarrollados y en vías de desarrollo continuaba en aumento.

En 1987, la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo publicó el Informe *Nuestro futuro común*, el cual contribuyó a destacar la importancia de tratar de forma integral las cuestiones económicas, ambientales y sociales en la categoría de desarrollo sostenible, lo que permitió ubicar de forma real esta cuestión en los primeros lugares del orden de prioridades de las Naciones

Unidas y de los bancos multilaterales de desarrollo. Además, los gobiernos empezaron a comprender que la continuidad del crecimiento no dependía solo de la formación de capital o la mano de obra calificada, sino también de la disponibilidad a largo plazo de los recursos naturales. En el informe se definió el desarrollo sostenible como “aquel desarrollo que satisface las necesidades de las presentes generaciones sin comprometer la habilidad de las futuras para satisfacer sus necesidades propias” (CMMAD, 1987).

Daly y Goodland (1997) hacen una serie de críticas al informe y señalan que el consenso en torno al desarrollo sustentable, se alcanzó gracias al escaso rigor de lo planteado, pues resultaba contradictorio lograr tasas de crecimiento del PIB del orden 5-10% y, a la vez, respetar los límites ecológicos. Además, el informe no indica los costos que supone alcanzar el desarrollo sostenible; tampoco explica cómo distribuirlos y con qué estrategias responder a los diversos grupos de interés involucrados —particularmente, los estratos sociales más pobres— y carece de precisión en cuanto a la existencia de sujetos transformadores de la realidad, pues solo sugiere la existencia de un colectivo “humanity”, que no es claramente identificado, por lo que el desarrollo sostenible queda en el vacío al no depender de nadie en especial. Asimismo, se habla de las necesidades de las futuras generaciones, sin embargo, no es posible planificarlas si no están identificadas.

La Cumbre de la Tierra —Cumbre de Río— (1992) reafirmó la importancia de promover el desarrollo sustentable aprobando diversos documentos, dentro de los cuales destaca la Agenda 21, la cual es un plan de acción que tiene como finalidad metas ambientales y de desarrollo en el siglo XXI. También se pueden mencionar las convenciones del cambio climático como el Protocolo de Kioto, firmado en diciembre de 1997. La Cumbre, pues, desempeñó una función clave para despertar conciencia sobre la necesidad de medir la interacción

entre los aspectos económico, social y del medio ambiente, lo que evidenció la necesidad de desarrollar los indicadores de desarrollo sustentable.

En 1997 y 2002 se realizaron dos cumbres más: Cumbre de la Tierra y Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en Johannesburgo, las cuales tuvieron consenso en la necesidad de adoptar medidas jurídicas para reducir la cantidad de gases de efecto invernadero y erradicación de la pobreza como requisito previo del desarrollo sostenible, siendo el principal objetivo avanzar en la ejecución de la Agenda 21.

El hecho de que los principales problemas ambientales actuales tengan un carácter global, tiende a unir a los gobiernos nacionales en la búsqueda de soluciones comunes; sin embargo, esta convergencia suele contrarrestarse al momento de establecer responsabilidades concretas a nivel internacional, ya que las metas ambientales no resultan en muchas ocasiones compatibles con los intereses de los países y grupos económicos fuertes.

El paradigma del desarrollo sustentable en México y sus estados, así como en las macro y microrregiones, representa múltiples complejidades y experiencias fallidas.

En el país se ha realizado de manera marginal (por ejemplo, en las áreas naturales protegidas), predominando solo como referente teórico en los discursos y documentos de diversos organismos gubernamentales, académicos y empresariales. Su utilización ha sido solamente referencial y con el objetivo de “reconocer” el grave deterioro de los recursos naturales y humanos (extrema pobreza), ya que en la práctica no se observan políticas integrales que contemplen las tres dimensiones: económica, social y ambiental.

Al igual que en la mayoría del país, en el estado de Guerrero el paradigma del desarrollo sustentable es solo el marco de referencia de investigadores y académicos, así como de instituciones gubernamentales como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa); sin

embargo, en la realidad no se observan aplicaciones específicas de éste, sino por el contrario, algunas veces se visualizan prácticas ambientales que lo contradicen como los casos de deforestación, defaunación y erosión de los suelos en las partes altas de la sierra y montaña de Guerrero, las cuales son fomentadas a través de los permisos otorgados por las instituciones encargadas de proteger el medio ambiente (López, 2007).

En el caso de la comunidad de Barra Vieja, el desarrollo sustentable no tiene una apropiación importante. La población no cuenta aún con elementos que le haga darse cuenta que el contexto ambiental en el que se encuentra no es el más adecuado, y no solo por los terribles problemas de contaminación, sino porque las condiciones de vida no son las mejores para llevar a cabo el paradigma del desarrollo sustentable.

La percepción ambiental como elemento esencial en la construcción del paradigma del desarrollo sustentable

A pesar de que no es finalidad de este trabajo profundizar sobre las diferentes teorías que explican el desarrollo sustentable, sí es importante señalar cómo se inserta el concepto de *percepción ambiental* en este análisis.

Desde la época de Descartes y hasta mediados del siglo xx, la temática de las percepciones tuvo su campo privilegiado de análisis en la filosofía, donde existía cierto consenso en señalar que la percepción es el ejercicio de los sentidos humanos, que contribuye en gran medida y de manera fundamental al conocimiento (Warnock, 1974). Esta postura materialista plantea que la idea se crea en el cerebro, después de captar a través de los órganos de los sentidos el mundo exterior. Esa idea pasa a ser reflejo de la materia, es decir, de aquello que es percibido. A decir de Kant (1781), las sensaciones son el elemento empírico, consecuencia de los objetos en la facultad de conocimiento.

Surge así la primera corriente teórica de las percepciones, que en los años sesenta y setenta del

siglo xx concibe a las percepciones como respuesta de los sentidos de la vista, gusto, olfato, tacto y oído en el ser humano. A partir de ahí, el estudio de las percepciones se desarrolla en el campo de la neurofisiología y la psicofísica, donde se generan resultados que les proporcionan a los filósofos los fundamentos empíricos para continuar su análisis de la Teoría del Conocimiento (Heathcote, 1980; Guirao, 1980; Kearsley, 1994).

La psicología ambiental estudia la percepción del ambiente desde el individuo. Los principales estudios realizados desde esta corriente investigan la relación de la respuesta del individuo a su ambiente, a través de los estímulos sensoriales (Heathcote, 1980; Conroy, 2002). Es en esta disciplina donde surge el concepto de *environmental cognition*, que se refiere al conocimiento y respuesta conductual del ser humano hacia el ambiente, el cual es dibujado, formado y comunicado por otros humanos (Stea, 2003). El concepto *environmental cognition*, asociado a la percepción sensorial del ambiente, fue precursor del concepto “percepción ambiental” o *environmental perception*, utilizado más tarde en geografía.

Existen diversas teorías sobre la percepción del medio ambiente. De las establecidas, las más importantes son la Teoría de la Gestalt desarrollada en Alemania. En la actualidad, las dos teorías relacionadas sobre la percepción ambiental son: la Ecológica y la Probabilística. Aunque a menudo se oponen entre sí, ambas ayudan a entender el proceso de percepción del ambiente.

Gibson (1980), uno de los principales teóricos del estudio de las percepciones ambientales desde la psicología ambiental, cuyas aportaciones se encuentran sistematizadas desde la Teoría Ecológica, considera que las sensaciones —colores, sonidos, texturas, olores y gustos— son el material crudo de la experiencia humana y que las percepciones son el producto manufacturado de la misma. Así, los objetos y el espacio dependen de la percepción (Conroy, 2002). La Teoría de la Percepción, de

Gibson, depende de la interacción del organismo con el ambiente y casi siempre surge a partir del sistema visual, donde el proceso perceptivo resulta de una actividad organizadora que, por medio de la atención, selecciona los datos sensoriales, para constituir el contenido o precepto en donde el acto de percibir es inmediato y privado (Guirao, 1980).

Más adelante, en esta misma escuela de la psicología ambiental, Neisser incorpora la connotación social en el proceso del conocimiento derivado de la percepción y plantea que “la percepción no es una serie de eventos aislados. Ésta es producida por un proceso de cambios continuos en el percibir. La percepción es una continua interacción con el ambiente natural y social” (citado en: Allott, 2001: p. 2).

Aunque en la psicología ambiental predomina el estudio de las percepciones ambientales desde la óptica del “individuo y lo privado” en relación a su entorno físico, autores ubicados en esta corriente consideran también variables demográficas como la edad, sexo, ingreso económico, orientación política y factores socioeconómicos (Brody, Highfield y Alston, 2004), para entender las diferentes ventajas o desventajas determinantes y las condiciones de existencia, a partir de la posición que el individuo ocupa en la sociedad (Mascitelli, 1979; Gallino, 1995).

Por otro lado, la Teoría Probabilística de Brunswick (1956, 1969; citado por: Holahan, 1999) propone que la información sensorial que proviene del ambiente y llega al individuo, nunca tiene correlación perfecta con el ambiente real, y sostiene que el individuo constantemente recibe señales complejas y engañosas acerca del ambiente.

La Teoría Probabilística tiende a predominar sobre la Teoría Ecológica en los modelos contemporáneos de percepción ambiental. La Teoría del Funcionamiento Probabilístico puede servir como un marco más extenso para describir e investigar las relaciones individuo-ambiente. No obstante, ambos planteamientos (probabilístico y ecológico)

recalcan los procesos psicológicos activos y dinámicos en los que el individuo participa al enfrentarse con el ambiente físico.

Los psicólogos ambientales han diseñado dos estrategias de investigación para estudiar cómo varía la percepción del medio ambiente contrastante: la primera, consiste en realizar estudios de ambientes naturales distintos; la segunda, estudia la percepción a partir de diferencias ambientales inducidas experimentalmente.

En este trabajo el objetivo fue realizar el estudio en un ambiente natural ya dado, como es el caso de la comunidad de Barra Vieja, la cual se encuentra cercana a la Laguna de Tres Palos, cuerpo de agua en el que, por su ubicación e importancia turística, resulta de suma importancia analizar la percepción ambiental desde una óptica holística, como lo plantea Gibson.

Actitudes ambientales, representación social, conformismo y creatividad: categorías de análisis en la percepción ambiental

Las actitudes ambientales parten del estudio de la psicología ambiental, las cuales, según Holahan (1999), son los sentimientos favorables o desfavorables que las personas tienen hacia las características del medio ambiente físico o hacia un problema relacionado con él. Desempeñan una importante función psicológica en la vida del individuo al ayudarlo a decidir entre una amplia gama de conductas.

El conocimiento de las actitudes ambientales se aplica en el diseño residencial, el desarrollo de recursos naturales y en programas de conservación.

Por otro lado, la representación social, de acuerdo con Abric (2004), está constituida por un conjunto de informaciones, de creencias, de opiniones y de actitudes, a propósito de un objeto dado. Se refiere al conocimiento de sentido común, que sirve para orientar el comportamiento social. En este sentido, la investigación entra en el campo de la psicología social y Moscovici (1979) define la representación social como un *corpus* organizado de conocimientos y una de las actividades psíquicas

gracias a las cuales los hombres hacen inteligible la realidad física y social, se integran en grupos o en una relación cotidiana de intercambios, y liberan los poderes de su imaginación.

La conformidad o conformismo, de acuerdo con Levine y Pavelchack (1991), es una forma de influencia social, donde los factores que influyen sobre la misma son las características del individuo expuesto a la presión de grupo, y la relación entre aquél y el grupo; así como la nacionalidad y el sexo. Además, estudios experimentales indican que la conformidad aumenta con el tamaño del grupo y, en general, es menor cuando los miembros del grupo tienen como fin obtener una recompensa común, que cuando lo hacen por recompensas individuales (Latané y Wolf, 1981; Deutsch y Gerard, 1995; citados por: Levine y Pavelchack, 1991).

La creatividad es el proceso mediante el cual un grupo, en una situación determinada, elabora un producto nuevo u original, adaptado a las condiciones y finalidad de la situación (Abric, 1991). Hall y Watson (1970; citados en: Abric, 1991) señalan que los grupos que se perciben homogéneos desarrollan una creatividad más elevada, comparándolos con los heterogéneos en aptitudes y actitudes.

Antecedentes de la Laguna de Tres Palos y su relación con la comunidad de Barra Vieja

La intrincada trama de lo ambiental y lo social acaba por definir rotundamente la pobreza, la miseria y las inequidades de los grupos poblacionales como problemas ambientales como: la erosión, la desertificación, la deforestación o la contaminación.

Cualquier grupo humano se ubica en un entorno con el que guarda múltiples relaciones de diversa índole: social, económica, política, cultural y “ambiental”. Esta última es interpretada de manera muy distinta según la disciplina que la aborde, hasta el punto que tiende a perder su sentido: para algunos el “ambiente” tiene sinónimo de “entorno”, con lo que abarcaría los primeros tipos de relaciones que acaban de mencionarse, más las que existen en los seres humanos y el medio natural en que se ubican;

mientras que, para otros, el “ambiente” es básicamente el medio natural transformado por la acción humana (Guttman *et al.*, 2004).

Existe un medio natural compuesto por elementos renovables, tales como: el aire, agua, suelo, flora y fauna, y no renovables, que consisten principalmente en recursos del subsuelo. La presencia del ser humano en ese medio tiene la posibilidad de alterarlo considerablemente, ya sea por la multiplicidad de formas de ocupación del mismo (comportamientos demográficos) como por la incidencia del tipo de relaciones que mantienen entre sí los distintos grupos humanos (de poder de producción), que implican, a su vez, diversas formas de apropiación y uso de los diferentes recursos del medio natural o transformado; del grado y la manera como satisfacen sus necesidades (condiciones de vida) y los valores, actitudes y comportamientos que tienen con respecto al medio natural o que inciden sobre éste (cultura ambiental) (Guttman *et al.*, 2004).

En los últimos años, en el municipio de Acapulco se ha venido observando una elevada explosión demográfica, sobre todo las zonas suburbanas y periurbanas, cuyo crecimiento rebasa los 250 000 habitantes, principalmente sobre los márgenes de los ríos y lagunas costeros, propiciando gran desalojo de desechos domésticos e industriales, que son arrojados a estos sistemas por no contar con los suficientes y eficientes servicios urbanos básicos. También las aguas superficiales del río La Sabana, sobre todo en su parte alta, donde son utilizadas para el riego doméstico, la pesca y acuicultura, y uso recreativo (EPA, S.A. de C.V., 2001).

La Región Hidrológica número 19, particularmente en el municipio de Acapulco y la Subcuenca Río La Sabana (sistema hidrológico Río La Sabana-Laguna de Tres Palos-Laguna Negra de Puerto Marqués), ha sido alterada en su medio ambiente por el desarrollo no planificado de actividades antropogénicas como: el crecimiento urbano-turístico, el desarrollo de actividades agropecuarias en territorio con poca aptitud, el aprovechamiento forestal

no controlado, y el puntual asentamiento industrial y explotación minera; asimismo, dicha región ha presentado impactos ambientales en su cobertura vegetal original, suelo, aire y aguas; niveles altos de fósforo y coliformes como consecuencia de la contaminación y el deterioro del acuífero están disminuyendo la calidad del agua y se acrecientan los lixiviados al subsuelo (IMTA, 2001).

En la región de Acapulco —Subcuenca Río La Sabana—, los usos del suelo autorizado no se han definido en forma congruente con el medio natural, debido principalmente a la inadecuada ubicación de algunos asentamientos urbanos y turísticos o al desarrollo de prácticas agropecuarias en zonas no aptas; lo anterior, ha originado actualmente una fuerte problemática ambiental que, aunque local, puede afectar significativamente la permanencia de los recursos y el desarrollo social y productivo en la región a corto plazo (Consejo Ciudadano para el Desarrollo Integral de Acapulco, A.C., 2001).

Es evidente la importancia de la Laguna de Tres Palos, considerando que el puerto de Acapulco ha mostrado un elevado crecimiento poblacional en los últimos años, por lo que las zonas aledañas a la laguna están consideradas como de reserva territorial urbana, además del desarrollo a corto plazo de los proyectos turísticos denominados “Punta Diamante y Copacabana”, que generan grandes cantidades de aguas residuales (50 000 m³/día) y desechos sólidos, por lo que antes de ser descargados debe removerse la carga orgánica en un 80%, para evitar la contaminación de los cuerpos de agua receptores (EPA, S.A. de C.V., 2001).

La Laguna de Tres Palos se localiza a 25 kilómetros de Acapulco en la llamada Costa Chica, en la planicie costera formada por el río La Sabana, afluente principal de ésta. Mide alrededor de 16 km de largo y 6 km de ancho mayor, su superficie es de 68 km² y está separada del mar por una barra de cerca de 3 km de ancho. En su extremo poniente es la zona donde se forma la delta del río La Sabana. Tiene una limitada comunicación con la Laguna Negra. En su extremo suroriental es la zona

conocida como Barra Vieja, donde se encuentra el afluente principal.

A través de este canal de 10 km de longitud, se establece una comunicación esporádica con el mar, creando un sistema de canales y manglares llamado El Salado (IMTA, 2001). En época de estiaje, el aporte del agua del río La Sabana es nula, aunque existen aportaciones a través de filtraciones de aguas subterráneas en el área del Delta.

El clima que presenta es de tipo tropical, con la característica de ser caliente húmedo con lluvias en verano, lo que sugiere que existe un invierno y una primavera secos, careciendo de una estación invernal que se origina por la influencia marina de los vientos (Campodónico y Nerys, 1981).

Tanto la flora como la fauna son propias del clima tropical. Una mejor distribución es la siguiente: arbustos al norte y noreste; pasto y mangle rojo al noroeste; tules al suroeste; tule, carrizos y mangle rojo al sureste (Campodónico y Nerys, 1981).

La temperatura de la laguna muestra gran estabilidad durante el año, con valores cercanos a 28-30 °. Su profundidad máxima alcanza los 7 m, mientras que su profundidad media oscila entre 2.5 y 3.4 m. Su nivel sobre el nivel del mar medio es de alrededor de 4 m en época de lluvias y baja considerablemente en la época de estiaje (Comité de Cuenca del Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, 2004).

El agua en forma de aporte pluvial, cuando llega a la laguna, contribuye a la renovación y mezcla del agua contenida con la aportada; una gran cantidad de materia orgánica, se incorpora periódicamente cuando ha sido arrastrada por las aguas, principalmente de los ríos Papagayo y La Sabana, que trae como consecuencia un incremento en la concentración de nutrientes y de materia orgánica disuelta, lo que, a su vez, puede ocasionar, cuando las condiciones ambientales son adecuadas, un incremento en la tasa de natalidad y producción primaria, y consecuentemente en todos los eslabones de la cadena trópica (Campodónico y Nerys, 1981).

Contiene agua dulce y la única conexión con el mar, se hace con el punto denominado Barra Vieja, la cual es una de las 66 comunidades cercanas al borde de la Laguna de Tres Palos, y por tanto tiene conexión con ésta, no solo geográficamente sino que la mayoría de las actividades económicas que la población realiza es en este cuerpo de agua, el cual es un centro turístico de gran importancia dentro del municipio de Acapulco, Guerrero. De ahí la importancia de analizar la percepción ambiental que la población tiene acerca del problema de contaminación que aqueja tanto a la comunidad como a la laguna.

Ubicación de la comunidad de Barra Vieja

Barra Vieja se localiza en el municipio de Acapulco de Juárez, en el estado de Guerrero, México, y se encuentra en las coordenadas: 99°37'36" longitud y 16°41'29" latitud.

La localidad se encuentra a una mediana altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Se localiza a 56 km al sureste de Acapulco, siguiendo la carretera al aeropuerto, y después 5 km más al noreste, pasando la punta de Barra Vieja (figura 1).

De acuerdo a los datos del INEGI (2010), la población actual de Barra Vieja es de 899 habitantes, de los cuales 445 son mujeres y 444, hombres. Además, existen 227 viviendas habitadas.

El sector más importante identificado en Barra Vieja es el de servicios. La mayor parte de la población desempeña actividades como: meseros(as), servicios de cuatrimotos, lancheros que dan recorridos al turismo, cocineros(as) y en menor cantidad los dedicados al comercio (vendedores[as] ambulantes). Existen restaurantes alrededor del lugar que difieren en instalaciones, calidad y precio.

El sector de la agricultura es incipiente, ya que solo se encontró un reducido número de personas que tienen viveros, y en su mayoría son de autoconsumo. Además, han perdido su importancia debido al cambio de uso de suelo de los asentamientos humanos.



Figura 1. Traza urbana de la localidad de Barra Vieja.
Fuente: elaboración propia con base en el INEGI.

METODOLOGÍA UTILIZADA

Para realizar el análisis de la percepción ambiental de la comunidad de Barra Vieja acerca de la contaminación de la Laguna de Tres Palos, se formuló una encuesta socioambiental de 46 preguntas, tomando en cuenta las categorías: actitudes ambientales, representación social, conformismo y creatividad. La encuesta contemplaba los siguientes aspectos de análisis: datos generales, datos socioeconómicos, hábitos de consumo, percepción de la contaminación, hábitos socioculturales en relación a la laguna, y salud pública.

La muestra poblacional fue de 93 familias (casas-habitación), la cual se determinó con base en una fórmula estadística de distribución normal:

$$n = P (1-P) (Z/E)^2$$

En donde:

n = tamaño de la muestra para una proporción poblacional.

P = proporción de la población.

Z = nivel de confianza (valor estándar).

E = error máximo permitido.

La intención era encuestar a una persona integrante de la vivienda, que pudiera integrar la per-

cepción englobada de las opiniones de cada uno de los integrantes de dicha familia.

Los objetivos eran:

1. Observar las prácticas y actitudes que los pobladores tienen con respecto a la contaminación del agua de la laguna.

2. Estudiar cuáles son las representaciones sociales que se manifiestan en torno al problema de la contaminación del agua de la laguna.

RESULTADOS

Haciendo referencia de manera particular a los resultados generados en este trabajo de investigación, el análisis se desglosa a continuación.

a) Resultados cuantitativos

La primera parte de la encuesta incluye *datos generales* de los entrevistados, que de acuerdo con los resultados arrojó que 34.4% eran hombres y 60.2%, mujeres.

La edad de los entrevistados osciló entre 15 y 86 años, pero el mayor porcentaje de personas encuestadas tenía entre 21 y 50 años, con 62.3% del total, y el restante incluye a personas entre 15 y 20 años y mayores de 51 años (cuadro 1).

Edad del entrevistado					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	15-20	6	6.5	6.5	6.5
	21-30	17	18.3	18.3	24.7
	31-40	20	21.5	21.5	46.2
	41-50	21	22.6	22.6	68.8
	51-60	11	11.8	11.8	80.6
	61-70	8	8.6	8.6	89.2
	más de 70 años	7	7.5	7.5	96.8
	no contestó	3	3.2	3.2	100.0
	Total	93	100.0	100.0	

Cuadro 1. Edad del entrevistado.

Fuente: elaboración propia con base en los datos obtenidos de la encuesta aplicada.

La mayor parte de los entrevistados cuenta con un grado de estudios mínimo: 40.9% tiene estudios de primaria y en el caso de algunos no la terminaron; 28% cuenta con secundaria; 15.1%, con pre-

paratoria y tan solo 5.4% cuenta con nivel superior; mientras que 9.7% no tiene ningún grado de estudios.

La segunda parte de la encuesta incluye *datos socioeconómicos*, donde se pudo determinar que las familias están conformadas básicamente entre 3 y 5 personas en su mayoría, con casi 60% del total, es decir, no son familias grandes, con algunas excepciones particulares (cuadro 2). No obstante, las viviendas son pequeñas, en algunos casos son ramadas, en donde existe más de una familia. El hacinamiento es una característica esencial de esta comunidad. Asimismo, el ingreso y gasto familiar mensual no es mayor de \$3000 pesos. En muchos casos el ingreso llega a variar, debido a la temporada turística en que se encuentre. Se percibe un relativo alto índice de emigración, ya que 35% respondió que alguien de su familia había emigrado hacia otros países, como Estados Unidos, y al interior de la república, como el Distrito Federal, Los Cabos, Cabo San Lucas, y que la razón fundamental ha sido la de obtener trabajo.

¿Cuántas personas conforman su familia?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 1-2 personas	14	15.1	15.1	15.1
3-5 personas	53	57.0	57.0	72.0
6-8 personas	22	23.7	23.7	95.7
8-10 personas	3	3.2	3.2	98.9
mas de 10 personas	1	1.1	1.1	100.0
Total	93	100.0	100.0	

Cuadro 2. Número de personas que conforman las familias. Fuente: elaboración propia con base en los datos obtenidos de la encuesta aplicada.

La tercera parte de la encuesta incluye los *hábitos de consumo* de la población, cuya finalidad es conocer las prácticas alimenticias. Los resultados obtenidos nos indican que de las tres comidas que, por lo regular, debería de realizar una persona promedio, solo dos son llevadas a cabo por la población, es decir, 58.1%, haciendo referencia fundamentalmente al desayuno y comida. La dieta de la población está constituida, en su mayoría, por pescado, que es obtenido de la laguna, así como tortillas y refrescos. En menor cantidad las verdu-

ras, frutas, leche, huevos y otros alimentos fundamentales en la alimentación.

En el cuarto apartado de la encuesta, se incluye la *percepción de la contaminación*, cuyo objetivo es conocer cómo visualizan la contaminación, así como los usos y costumbres que los habitantes de la comunidad tienen en la laguna.

Por un lado, se pudo constatar que del total de encuestados, 81.7% dijo que “sí” consideraba que la Laguna de Tres Palos estaba contaminada, solo 10% expresó que “no” y 7.5% contestó que “no sabía” (cuadro 3). Empíricamente los pobladores de Barra Vieja se han dado cuenta de que la laguna sí se encuentra en un alto grado de descomposición ambiental. Por otro lado, el uso que la mayoría de la población le da es el de la pesca (66.7%); en segundo lugar está el recreativo. Además, 54.8% contestó que el uso que le dan a la laguna sí se ha visto afectado por la contaminación, sobre todo en el pescado, manifestando que existe escasez del mismo o que se percibe de consistencia y olor diferentes al ser consumido por los pobladores. Pero, además, este uso de pesca que le dan a la laguna, también ha ayudado a que exista una mayor contaminación de la misma, ya que las vísceras y desperdicios son desechados al cuerpo de agua por los mismos pescadores y restauranteros.

¿Considera usted que la Laguna de Tres Palos está contaminada?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Sí	76	81.7	81.7	81.7
	No	10	10.8	10.8	92.5
	No sé	7	7.5	7.5	100
	Total	93	100	100	

Cuadro 3. Contaminación de la Laguna de Tres Palos. Fuente: elaboración propia con base en los datos obtenidos de la encuesta aplicada.

No obstante, a pesar de estos resultados, no existe un programa de educación ambiental permanente en la comunidad, ya que 82.8% no reconoció ningún programa que se hubiera aplicado. De

manera incipiente y esporádica ha habido algunos, como los de cultivo de mangle o campañas de limpieza, que se han llevado a cabo por algunas cooperativas pesqueras, por lo cual las personas que deciden participar reciben algún apoyo económico.

Estos datos concuerdan con la concepción del papel que están teniendo las autoridades locales ante el problema de contaminación, ya que en su mayoría la respuesta osciló entre “malo” y “regular”; el primero con 46.2% y el segundo con 20.4% (cuadro 4 y gráfica 1).

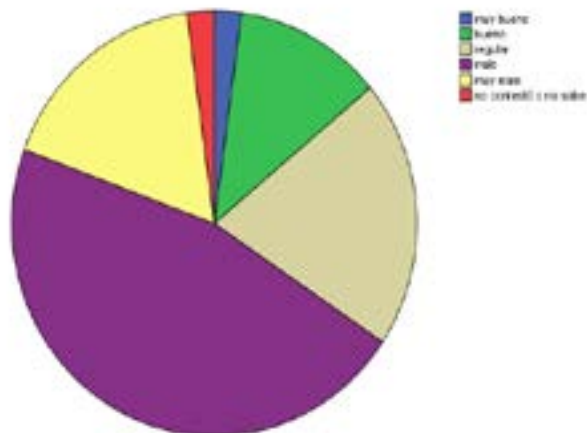
¿Cómo percibe el papel de las autoridades locales con respecto al problema de la contaminación?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos muy bueno	2	2.2	2.2	2.2
bueno	11	11.8	11.8	14.0
regular	19	20.4	20.4	34.4
malo	43	46.2	46.2	80.6
muy malo	16	17.2	17.2	97.8
no contestó o no sabe	2	2.2	2.2	100.0
Total	93	100.0	100.0	

Cuadro 4. Percepción de las autoridades locales con respecto al problema de la contaminación.

Fuente: elaboración propia con base en los datos obtenidos de la encuesta aplicada.

¿Cómo percibe el papel de las autoridades locales con respecto al problema de la contaminación?



Gráfica 1. Percepción de las autoridades locales con respecto al problema de la contaminación.

Fuente: elaboración propia con base en los datos obtenidos de la encuesta aplicada.

En el quinto apartado de la encuesta, *hábitos socioculturales en relación a la laguna*, se pretende obtener información relacionada con las acciones y

actitudes que los habitantes de la comunidad tienen hacia la contaminación generada vía residuos y aguas residuales. El uso que le dan al manglar, así como las prácticas comunes que los pobladores realizan como medio de subsistencia, deportivo, cultural y de festividad. Asimismo, la percepción que tienen hacia su centro de salud pública local.

La población sí tiene conocimiento de que existe un servicio de limpia y recolección de basura del municipio, ya que 87% contestó que “sí” sabía acerca del mismo y sólo 9.7% expresó que “no”. Además, de acuerdo con la información obtenida, el 40% de los pobladores menciona que el camión recolector realiza sus recorridos cada tercer día. No obstante, existe una diferencia cualitativa y cuantitativa en estos recorridos, porque los camiones recolectores hacen una diferencia entre las viviendas y restaurantes que se encuentran del lado del mar y los que se encuentran del lado de la laguna. Mientras que a los primeros les recogen sus residuos permanentemente, a los que se encuentran del lado de la laguna les cobran una cuota y su labor no la desempeñan de manera constante.

De igual manera, de acuerdo con la encuesta aplicada, 50.5% de la muestra sí separa su basura, principalmente el plástico (foto 1). El restante de residuos generados es llevado al camión recolector y otras veces es quemado. En el caso de los plásticos existe una empresa privada encargada de recoger los envases a cambio de una remuneración económica. Del restante 49% que no separa su basura, también la arroja al camión recolector y la quema. Las prácticas de separación de basura tienen una connotación utilitaria, ya que los pobladores realizan esta actividad solo por la remuneración que perciben por la misma y no por estar concientizados del problema ambiental que sufren al no separar los residuos, ya que sus prácticas siguen siendo ambiguas, al quemarla o tirarla a los patios baldíos que se encuentran en la parte trasera de sus casas o a la orilla de la laguna (foto 2).



Foto 1. Separación del plástico en Barra Vieja.
Fuente: archivo personal.



Foto 2. Patios baldíos de Barra Vieja con basura.
Fuente: archivo personal.

Respecto al tratamiento de las aguas residuales en las viviendas de Barra Vieja, se pudo constatar que la mayoría de las casas (92.5%) (cuadro 5 y gráfica 2) cuenta con una fosa séptica, que tiene entre 3 y 4 metros de profundidad, distancia que no es la más óptima, ya que es la misma profundidad que tienen los pozos de agua que utilizan para su actividades diarias (preparación de alimentos, baño, etcétera). Existe una alta combinación entre fosas sépticas y pozos de agua, así como una elevada filtración de las primeras a la laguna. Incluso, los mismos pobladores manifestaron su conocimiento acerca de este grave problema, argumentando que

el agua de pozo tiene apariencia sucia y, además, se perciben microorganismos a simple vista. Asimismo, 36.6% manifestó que dichas aguas residuales tenían su desagüe en la laguna, mientras que 51.6% respondió que se filtraba o que iba a dar al mar.

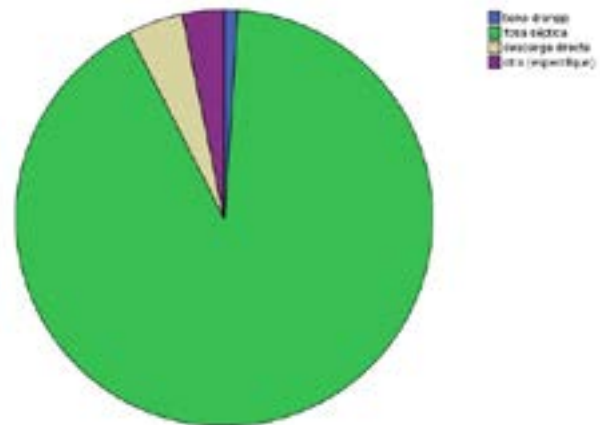
¿Cómo se manejan las aguas residuales en su hogar?

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos tiene drenaje	1	1.1	1.1	1.1
fosa séptica	85	91.4	91.4	92.5
descarga directa	4	4.3	4.3	96.8
otra (especifique)	3	3.2	3.2	100.0
Total	93	100.0	100.0	

Cuadro 5. Manejo de las aguas residuales en el hogar.

Fuente: elaboración propia con base en los datos obtenidos de la encuesta aplicada.

¿Cómo se manejan las aguas residuales en su hogar?



Gráfica 2. Manejo de las aguas residuales en el hogar.

Fuente: elaboración propia con base en los datos obtenidos de la encuesta aplicada.

Asimismo, una tercera parte de los encuestados (33.3%) está consciente de que sus actividades cotidianas han afectado el estado de la laguna, los restantes no se asumen como responsables y un porcentaje muy pequeño no sabe, señalando que las principales actividades que inciden en la contaminación son: las fosas sépticas, tirar la basura a las orillas de la laguna y las actividades realizadas con los motores fuera de borda. Además, 68.8% está consciente de que la calidad del agua ha disminuido.

El uso del manglar en esta comunidad es frecuente (74.2%), a pesar de que los habitantes tienen el pleno conocimiento de los beneficios que genera

en la filtración y eliminación de algunas toxinas en el agua, y 67.7% sabe que se encuentra en peligro de extinción. Existe la prohibición de la tala del manglar y la población está en pleno conocimiento de que existe una norma que lo determina. No obstante, lo siguen utilizando para la construcción de ramadas, principalmente.

También se les preguntó acerca del uso de la panga en sus actividades cotidianas. Del total de la muestra, 74.2% reconoció haberla utilizado e incluso, en muchos de los casos aún lo hacen, principalmente para la pesca; no obstante, 89.2% tiene pleno conocimiento de que las pangas son menos contaminantes que los motores fuera de borda.

Dentro de los usos y costumbres que existen en la laguna (alguna festividad o actividad deportiva), el único evento reconocido por los encuestados fue el Día de la Virgen de Guadalupe, que se efectúa el 12 de diciembre de cada año, el cual consiste en pasear a la Virgen alrededor del cuerpo de agua durante toda la noche, donde el comisario de la población es el encargado de organizar dicho evento.

Todos estos usos, costumbres, hábitos y actividades de los pobladores de Barra Vieja en la laguna, en la mayoría de los casos sí contribuyen a contaminarla. La mayoría manifestó que sí estaría dispuesto a hacer algo para reducir la contaminación y deforestación en la laguna. Aunque cualquier programa implementado debe ser organizado por las autoridades locales, por lo que solo participarían en las actividades realizadas.

Las últimas tres preguntas que se les formularon a los encuestados hacen referencia al centro de salud pública de la comunidad, así como a las enfermedades que algunos de los encuestados presentan.

Del total de la muestra en la encuesta realizada, 46.2% manifestó haberse sentido afectado o algún miembro de su familia por la contaminación. No obstante, son solo las percepciones de los habitantes. Las afectaciones que manifestaron haber sufrido fueron: infecciones en la piel (ronchas), gastrointestinales, dengue, gripe y tos, principalmente.

Por otro lado, 87.1% de los encuestados comentó que sí había acudido a su centro de salud pública local. No obstante, una tercera parte de los encuestados percibe que el papel de las autoridades locales de salud pública es “regular”, el cual oscila entre “bueno” y “malo”. El principal problema manifestado fue el de una limitada atención del centro de salud pública.

Se efectuó una indagatoria al Centro de Salud Pública de Barra Vieja y se constató que tiene un horario de atención de lunes a viernes por la mañana. Los fines de semana no se cuenta con este servicio. Esta situación y otros factores, como la falta de preparación educativa, conducen a la proliferación de enfermedades, empobrecimiento y reducción de oportunidades para dichas personas.

b) Resultados cualitativos

Si se toman en cuenta las cuatro categorías descritas párrafos arriba: actitudes ambientales, representación social, conformismo y creatividad, se puede analizar que los cuatro elementos son características esenciales de la población entrevistada.

Por un lado, se pudo constatar que las actitudes ambientales de la comunidad de Barra Vieja hacia la valoración de los recursos naturales es utilitarista, lo que ha incidido de manera negativa en el medio ambiente físico, ya que se observaron deterioros visibles en sus recursos naturales por la sobreexplotación de los mismos; por ejemplo, la tala inmoderada del mangle para la construcción de viviendas o incluso, para el uso de leña; la excesiva presión sobre las especies pesqueras para el autoconsumo y venta, además del inadecuado manejo de los residuos sólidos, al tirar su basura al traspatio de sus casas o incluso, con la quema de los mismos, y en el peor de los casos en la misma laguna (foto 1).

Por otro lado, la representación social en esta investigación es importante, ya que las personas agrupadas en sus respectivas organizaciones, como cooperativas, tienen actitudes y prácticas ambientales que los diferencian entre sí, aunque coinci-

den en que la representación social del agua de la laguna, se diferencia en sus prácticas y actitudes cuando intervienen intereses específicos.

El conformismo se pudo observar al percibir la poca coordinación entre los sectores de la comunidad, ya que además existen pugnas políticas y divisionismos, restando capacidad de gestión de recursos para mejorar la infraestructura y los servicios básicos. La población entrevistada le resta importancia a estos asuntos. Respecto a la conformidad, se coincide con estudios empíricos que señalan que ésta aumenta con el tamaño del grupo y, en general, es menor cuando los miembros del grupo trabajan a fin de obtener una recompensa común que cuando lo hacen por recompensas individuales. Además de que manifiestan que son las autoridades las encargadas de llevar a cabo programas de limpieza y se manifiestan como simples actores pasivos ante la problemática ambiental.

La creatividad en la comunidad de Barra Vieja, se observa baja, debido a que existen diversos grupos de interés. Por un lado, se encuentran los restauranteros y por otro, los pescadores y la población en general, que incluye la familia de los pescadores. El liderazgo en la comunidad se percibe en “dejar hacer”, ya que la mayoría de las decisiones tomadas por la población se acuerda en las cooperativas, pero los acuerdos tomados no son llevados a cabo por la mayor parte de la población en su conjunto. A pesar de que existe un comisario, encargado de generar los consensos, también se percibe poca legitimación en las decisiones tomadas.

No obstante, cuando los encuestados hacen referencia al centro de salud pública, al cual califican, en su mayoría, de pésimo servicio, la creatividad se percibe positiva, al utilizar plantas medicinales en diferentes formas para hacer frente a los problemas de salud.

DISCUSIÓN

Dentro de las investigaciones a nivel local acerca de la percepción ambiental, se encuentran muy pocos

estudios que aborden la problemática ambiental de manera microrregional. Sin embargo, es importante destacar trabajos de investigación precisamente desde esta visión, como es el caso de López (2007), el cual aborda el problema de contaminación pero de Barra de Coyuca de Benítez, Guerrero, tomando en cuenta en su análisis a la población, así como a algunas autoridades importantes, grupos ecologistas y asociaciones civiles. No obstante que el estudio avanza en la perspectiva mencionada, no incluye estadísticas descriptivas, que son de interés al momento de llevar a cabo políticas públicas que den solución a la problemática ambiental.

En Puerto Ángel, Oaxaca, también existen trabajos como el de González (2010), en el cual también se realiza un estudio acerca de la percepción ambiental de esta población, analizando los problemas de contaminación y los factores causantes. Sin embargo, este trabajo es efectuado bajo una visión sistémica dentro de una postura más bien antropocentrista, es decir, ambientalista moderada. Además de estar dirigido a mayores grupos focales como: población, autoridades de gobierno y profesores-investigadores, avanzando en las propuestas de solución a la problemática de contaminación encontrada.

Este trabajo toma como punto de partida la Teoría Ecológica para avanzar en el análisis de la percepción de la comunidad de Barra Vieja con respecto a los problemas de contaminación que sufre la Laguna de Tres Palos, y se construyen estadísticas microrregionales, las cuales puedan utilizarse no solo en orientar el diseño de políticas públicas, sino también como punto de comparación entre las diferentes comunidades que conforman el estado de Guerrero y que, en su mayoría, si no es que en su totalidad, cuentan con esta problemática. No obstante, al ser una investigación que se encuentra en avance aún falta profundizar en otros sectores de la comunidad como: restaurantero, grupos ecologistas, autoridades de salud y autoridades de gobierno, los cuales en su mayoría no viven en el

lugar de estudio, y por tanto sus intereses y percepciones son diferentes a los de la población habitante de Barra Vieja.

Sin embargo, el primer paso ya está dado, que es conocer y analizar la percepción que se tiene por parte de una de las comunidades más cercanas a la Laguna de Tres Palos y con gran importancia turística en la problemática de la contaminación no solo vía residuos sólidos, sino también descargas residuales e impacto en el cambio de uso del suelo por parte de algunos asentamientos urbanos y turísticos. Por lo que el problema no solo es consecuencia de los usos y costumbres de la población de Barra Vieja, sino que incluye una serie de actores como: autoridades locales y federales, empresas constructoras e incluso, el mismo turismo, que llega a disfrutar de este ambiente natural y que tampoco tiene apropiado el paradigma del desarrollo sustentable.

CONCLUSIÓN

Finalmente, se pudo constatar que el trabajo de campo efectuado en la presente investigación sienta las bases para orientar políticas públicas, pero tomando en cuenta la participación ciudadana, entendiendo que las soluciones no se pueden generalizar a nivel estatal, nacional y, mucho menos, internacional.

El estudio del medio ambiente y de los recursos naturales debe hacerse desde diferentes disciplinas, que permitan tener una visión holística de la problemática ambiental, y generar soluciones que sean medibles y alcanzables en el tiempo.

En el caso de la comunidad de Barra Vieja, la percepción del problema de la contaminación de la Laguna de Tres Palos, principal fuente de trabajo de los pobladores, depende del contexto en el cual se encuentran: falta de servicios básicos, terciarización de la economía (baja tecnología), ingresos y condiciones que corresponden a un estrato socioeconómico bajo, entre otros, y que, por tanto, la solución a la problemática no solo tiene que ver

con programas de educación ambiental, sino con la solución en primera instancia de proveerlos de la infraestructura básica, así como la generación de las condiciones necesarias para el mejoramiento de la calidad de vida de la población, y así poder avanzar en la construcción del paradigma del desarrollo sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de un proyecto denominado “Diagnóstico socioambiental de las comunidades ribereñas de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México”, convenio firmado por la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro.) y Grupo Aeroportuario del Centro Norte, S.A. de C.V., a quien se le agradece su apoyo en el financiamiento de la presente investigación.

Asimismo, se agradece la participación en el trabajo de campo a los estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Unidad Académica de Ciencias Ambientales de la UAGro.

BIBLIOGRAFÍA

- Abric, J. C. (2004). “Prácticas y representaciones sociales”. México: Coyoacán.
- (1991). “La creatividad de los grupos”. En: Serge Moscovici (ed.). *Psicología social 1. Influencia y cambio de actitudes, individuos y grupos. Cognición y desarrollo humano*. España: Paidós.
- Allot, R. (2001). “Language and Evolution: Language Papers”. *Perception*. Disponible en: <http://www.percepp.demon.co.uk/perceptn.htm>.
- Brody, S. D., W. Highfield y L. Alston (2004). “Does Location Matter? Measuring Environmental Perceptions of Creeks in Two San Antonio Watersheds”. *Environment and Behavior* 36(2), pp. 229-250. Disponible en: <http://archone.tamu.edu/epsru/pdf/04-02A.pdf>
- Campodónico, C. y W. Nerys (1981). “El cre-

- cimiento de Acapulco”. Acapulco, Gro.: H. Ayuntamiento Constitucional de Acapulco/Asociación de Economistas Guerrerenses.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD) (1987). *Nuestro futuro común*. España: Editorial Alianza.
- Comité de Cuenca del Río La Sabana-Laguna de Tres Palos (2004). *Plan de Gestión Integral de la Cuenca del río La Sabana-Laguna de Tres Palos*.
- Conroy Dalton, R. (2002). “Lecture Notes # 1: Perception & Cognition”. Disponible en: http://undertow.arch.gatech.edu/homepages/rdalton/lectures/sc_01.htm.
- Consejo Ciudadano para el Desarrollo Integral de Acapulco, A.C. (2001). *Plan Director Urbano para la Zona Metropolitana de Acapulco de Juárez, Guerrero*. Memoria Técnica-Nivel Estratégico. H. Ayuntamiento de Acapulco de Juárez 1999-2002/Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas y Ecología, pp. 11-14, 70.
- Environment Protection Agency (EPA), S.A. de C.V. (2001). “Vulnerabilidad del puerto de Acapulco”. Estudio preliminar ambiental del sistema hidráulico del delta río La Sabana-Laguna de Tres Palos y canal meándrico. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), pp. 48, 65-70.
- Fernández, Y. (2008). “¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en áreas naturales protegidas”. *Espiral, estudios sobre Estado y sociedad*, xv(43).
- Gallino, L. (1995). *Diccionario de sociología*. México: Siglo XXI, p. 159.
- González, S. (2010). “Percepciones locales sobre la contaminación ambiental en el estado de Oaxaca. Un estudio de caso”. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Universidad del Mar campus Puerto Ángel, Oaxaca.
- Guirao, M. (1980). “La percepción: bases sensoriales”. En: M. Guirao (ed.). *Los sentidos. Bases de la percepción*. Madrid: Universidad Alhambra, pp. 314-323.
- Guttman, E., C. Zorro, A. Cuervo y J. C. Ramírez (2004). “Diseño de un sistema de indicadores socioambientales para el distrito de la capital de Bogotá”. Serie Estudios y Perspectivas. Proyecto “Evaluación social de la gestión ambiental”. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Heathcote, R. L. (1980). “The Context of Studies into the Perception of Desertification”. En: R. L. Heathcote (ed.). *Perception of Desertification*. Tokio: Bibliografía de las Naciones Unidas.
- Holahan, C. (1999). *Psicología ambiental. Un enfoque integral*. México: Limusa Noriega.
- Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua (IMTA) (2001). “Diseño de las medidas de biorremediación y saneamiento de la Laguna de Tres Palos, Acapulco, Guerrero”. Coordinación de Tecnología Hidráulica/Subcoordinación de Hidráulica Ambiental. Informe final: Proyecto HC-9825: capítulos I y IV.
- Kearsley, G. (1994). “Explorations in Learning & Instruction: The Theory into Practice Database”. *Information Pickup Theory*. Disponible en: <http://tip.psychology.org/gibson.html>.
- Levine, J. y M. A. Pavelchack (1991). “Conformidad y obediencia”. En: Serge Moscovici (ed.). *Psicología social 1. Influencia y cambio de actitudes, individuos y grupos. Cognición y desarrollo humano*. España: Paidós.
- López, J. (2007). “Percepción sobre la contaminación del agua en la comunidad de la Barra de Coyuca de Benítez, Guerrero”. Tesis de Maestría en Estudios Socioterritoriales. Centro de Investigación y Posgrado en Estudios Socioterritoriales, sede Acapulco/Universidad Autónoma de Guerrero.
- Mascitelli, E. (1979). *Diccionario de términos marxistas*. Barcelona: Grijalbo, pp. 63-64.
- Naredo, J. M. (2001). “Economía y sostenibilidad.

La economía ecológica en perspectiva”. *Polis*,
Revista de la Universidad Bolivariana, 1(2).
Stea, D. (2003). “Environmental/Geographic Per-
ception and Cognition”. *Geography* 7371. Doc-
toral Seminar in Geo Distance Education Class.

Disponible en: <http://www.pdf4free.com>.
Warnock, G. J. (1974). “La filosofía de la percep-
ción”. México: Fondo de Cultura Económica,
pp. 7-8.

Instructions to Authors

The Editorial Board of the journal **Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ**, invites authors to submit manuscripts under three categories: research articles, short manuscripts (which will be short articles showing results of undergraduate thesis and written by the undergraduate students, reviewed by their advisers), and invited reviews. Manuscripts should be sent to the Editor in Chief, according to the following specifications:

1. Papers should be from original research and with scientific content.
2. Once published, articles cannot be published elsewhere in the same form, in any language, without the consent of UACJ publishers.
3. Papers may be: research articles, short manuscripts and invited reviews, belonging to the fields of natural or exact sciences (biology, life sciences, chemistry, mathematics, physics, etc). Final decisions concerning acceptability of the manuscripts will be made by the Editorial Board.
4. Papers may be written in English, Spanish or any Romance language. If a translation to Spanish is submitted, the text in original language should also be provided. Abstracts written both in Spanish and English should also be provided.
5. Originals are not sent back.
6. If the author fails to respond to the final comments of the Editorial Board of *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, the journal can make editing changes which do not modify the original content of the article.
7. Papers should meet the following format:
 - Short and concise title, written in both English and Spanish or Romance languages.
 - A brief abstract between 40 and 150 words, which should also be written in both languages.
 - Name and nationality of authors.
 - Affiliation of authors, including highest degree and research field of all authors.
 - Author affiliations should be included as footnotes starting from number 1.
 - Ex. Ramírez, J. L.¹ y Martínez, R.²
¹ Universidad de Puebla, México.
² Universidad de Santiago Compostela, España.
 - Footnotes should be posted at the bottom left side of the page where they are mentioned.
 - Specify type of paper, *i.e.* Research article, Short manuscript or Invited review.
 - Postal address of the corresponding author, which includes: telephone, fax and e-mail. Corresponding author should be highlighted with an asterisk (*) mark.
 - Manuscripts should be submitted in triplicate, printed in one side only, letter or A4 size paper, double-spaced, with margins of 3 cm.
 - A disk copy of the manuscript in WinWord 6.0 or higher, should also be provided. Figures and tables should be sent in Excel or WinWord 97, each saved in a different file.
 - For Research articles, manuscript length should be between 10 and 30 pages, plus figures and tables. Short manuscripts should be shorter than 10 pages, plus figures and tables.

- Figures and tables should be mentioned in the text, and numbered in arabic numbers. The software in which they were created should be mentioned.
- Figure and table legends should be concise and understandable, and should be listed at the end of the manuscript (after references).
- Bibliographic references should be quoted in the text by writing the last name of the first author and publication year between parenthesis. References will be included at the end of the text, ordered alphabetically.
- In references for book titles, capital letters should be used only at the beginning of the title and on authors names.
- When using acronyms, the full meaning of them should be provided when mentioned for the first time.
- Bibliographic references should be formatted as follows:

Book references:

Author's last name, first name (year). *Book title.*
City: Editorial, total pages.

Ex:

Foucault, Michael (1984). *Las palabras y las cosas.* México: Siglo XXI, 200 pp.

Book section references:

Author's last name, first name (year). "Section title". En: Editor's name and last name (ed.). *Book title.* City: Editorial, pages.

Ex:

Levine, Frances (1991). "Economic Perspectives on the Comanchero Trade". En: Catherine A. Spielmann (ed.). *Farmers, Hunters and Colonists.* Tucson, AZ: The University of Arizona Press, 155-169.

Journal references:

Auhor's last name, first name's initials; other authors (year). "Article's title". *Journal abbreviation,* volume, pages.

Ex:

Sagara, Y., Fernández-Belda, F., De Meis, L. e Inesi, G. (1992). "Characterization of the Inhibition of Intracellular Ca²⁺ Transport ATPases by Thapsigargin". *J. Biol. Chem.,* 267, 12606-12613.

Rivas-Cáceres, R. (1999). "Médanos de Samalayuca. Un urgente reclamo, una estrategia emergente". *Ciencia en la Frontera,* 1, 29-32.

Normas de publicación para los autores

El Comité Editorial de la revista *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, acoge con gusto propuestas de artículos para su publicación, bajo dos modalidades: artículos de investigación y artículos síntesis de investigación o Revisiones sobre tópicos de ciencia en general. Los manuscritos pueden estar derivados de tesis de pregrado o posgrado. Las normas establecidas para la publicación son las siguientes:

1. Los trabajos deberán ser de calidad científica e inéditos avalados por un investigador de carrera.
2. Una vez publicado el artículo, los derechos de autor pasan a la UACJ.
3. Los artículos pueden ser de investigación original, revisiones invitadas (actualizaciones en temas de investigación) o comunicaciones breves (avances de investigación), los cuales deberán referirse a las áreas de ciencias naturales y exactas, ajustándose al dictamen del Comité Editorial, el que evalúa su contenido científico de calidad y decide sobre la pertinencia de su publicación.
4. Los trabajos pueden ser enviados para su publicación en idioma inglés o español. Si se envía una traducción al español, hay que adjuntar el texto también en forma original. Los artículos deberán incluir resumen en español seguido de uno en inglés (y viceversa).
5. No se devuelven los originales.
6. En caso de que el autor no responda después de haberse presentado las correcciones o dudas de su trabajo, la revista *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, se reserva el derecho de hacer los cambios de edición sin modificar el contenido original de la obra.
7. Los trabajos deben ajustarse a los siguientes requisitos (de no cumplirse con ellos, no se considerarán para su publicación):
 - Título del trabajo, breve y conciso en inglés y español.
 - Un resumen del contenido de una extensión aproximada de 40 palabras como mínimo y 150 palabras como máximo, que deberá estar en inglés y español.
 - Nombre de los autores. De la manera tal y como los autores desean que aparezca en la versión impresa.
 - Adscripción de todos los autores, incluyendo el máximo grado de estudios y área de especialización.
 - La institución de adscripción de los autores participantes deberá incluirse como un pie de página, comenzando con el número 1.
 - Ejemplo: Ramírez, J. L.¹ y Martínez, R.²
¹ Universidad de Puebla, México.
² Universidad de Santiago Compostela, España.
 - Naturaleza del trabajo: artículo de investigación, avance de investigación, etcétera.
 - Dirección para correspondencia que incluya: teléfono, fax y correo electrónico. El nombre del autor al cual se dirigirá la correspondencia debe indicarse con un asterisco (*) y la leyenda "Autor para correspondencia".
 - La extensión del trabajo deberá ser de un mínimo de 10 cuartillas de texto más las figuras, y de un máximo de 30 cuartillas más las figuras para un artículo de investigación. La extensión de los avances de investigación deberá ser de un máximo de 10 cuartillas de texto más las figuras.
 - Las ilustraciones, cuadros y fotografías deberán referirse dentro del texto, enumerándose en el orden que se citan en el mismo, e indicar el programa de cómputo en el que están elaborados.

- Los pies de figura deberán ser explícitos sin necesidad de leer el texto principal. Deberán incluirse en un listado después de la bibliografía.
- Las referencias bibliográficas deben asentarse de la forma convencionalmente establecida en español, indicando éstas en el cuerpo del texto con los apellidos del primer autor y año de publicación entre paréntesis, y los datos bibliográficos al final del escrito. La bibliografía se presenta al final del artículo por orden alfabético.
- Al citar los títulos de libro, se deben utilizar mayúsculas solo al inicio y en nombres propios.
- Al menos la primera vez, debe proporcionarse la equivalencia de las siglas empleadas en el texto, en la bibliografía y en los cuadros y las figuras.
- Distribuir los datos de las referencias bibliográficas de la siguiente manera:

Referencia de libro:

Apellido(s), nombre(s) del autor (año). *Título del libro.* Lugar: Editorial, número de páginas totales.

Ejemplo:

Foucault, Michael (1984). *Las palabras y las cosas.* México: Siglo XXI, 30-45.

Referencia de capítulo de libro:

Apellido(s), nombre(s) del autor (año). “*Título del capítulo*”. En: Nombre(s) y apellido(s) del editor (ed.). *Título del libro.* Lugar: Editorial, páginas.

Ejemplo:

Levine, Frances (1991). “*Economic Perspectives on the Comanchero Trade*”. En: Catherine A. Spielmann (ed.). *Farmers, Hunters and Colonists.* Tucson, AZ: The University of Arizona Press, 155-169.

Referencia de revista:

Apellido(s) del autor, inicial(es); otros autores (año). “*Título del artículo*”. *Nombre de la revista,* abreviado según el Index Medicus journal abbreviations: <http://www.nlm.nih.gov/tsd/serials/lji.html>, volumen, páginas.

Ejemplos:

Sagara, Y., Fernández-Belda, F., De Meis, L. e Inesi, G. (1992). “Characterization of the Inhibition of Intracellular Ca²⁺ Transport ATPases by Thapsigargin”. *J. Biol. Chem.*, 267, 12606-12613.

Rivas-Cáceres, R. (1999). “Médanos de Samalayuca. Un urgente reclamo, una estrategia emergente”. *Ciencia en la Frontera*, 1, 29-32.

SOBRE LA REMISIÓN DE ARTÍCULO Y EL PROCESO EDITORIAL

Remitir el original por correo electrónico a:

ciencia.frontera@uacj.mx
con atención al Comité Editorial

Indicar los nombres y datos de contacto de 2 revisores que se sugieran para dictaminar el artículo.

Los datos de contacto son:

Nombre completo del revisor.

Adscripción: institución, dependencia, departamento, grupo de trabajo.

Correo electrónico.

Números de teléfono y fax.

Dirección con código postal.

- El Comité Editorial acusará recibo del trabajo mediante correo electrónico. No se extienden oficios por la recepción del manuscrito. La recepción del manuscrito no garantiza su publicación.
- Posteriormente a un tiempo de dictamen de un mes máximo, el Comité Editorial remite, vía correo electrónico, el trabajo a sus autores, para que realicen las modificaciones que hubiera con base en las acotaciones de los dictaminadores.
- Los autores remitirán la segunda versión del ma-

nuscrito en un plazo máximo de 2 semanas y el Comité Editorial acusa recibo mediante correo electrónico. En caso de no recibir la versión corregida en este plazo, el Comité se reserva el derecho de descartar la publicación y su posterior remisión se considerará como un nuevo proceso.

- No se emitirán oficios por la recepción de los trabajos corregidos.
- Posteriormente a la recepción del artículo en su versión definitiva, el Comité Editorial emite un acuse de recibo por correo electrónico y anunciará el proceso de revisión de galeras y publicación. Durante éste, el Comité Editorial trabaja en conjunto con la Subdirección de Publicaciones de la UACJ.
- No se emiten oficios por cada artículo aceptado para publicación.
- Cada fascículo se incluye en la página de publicaciones periódicas de la UACJ, bajo la dirección:

<http://www.uacj.mx/difusion/publicaciones/Paginas/cienciasdelafrontera.aspx>

- La versión impresa de cada fascículo, se procesa por la Subdirección de Publicaciones. Se obsequia un ejemplar por artículo como regalías.

