

Jonatan Torres Pérez
Jorge Alberto Pérez León
(Coordinadores)

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 ICB

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 Velasquez Angulo
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Dr. Ignacio Villanueva Fierro
Instituto Politécnico Nacional (Ciudad 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. 10. (2012). Ciudad Juárez, Chih.: UACJ, 2012, v. ; 21 cm. Seriado

Apoiado con Recursos PIFI

Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ Vol. II, Núm. 1, 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. 04-2010-11301126-0000-102 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 septiembre 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

Influencia del disturbio en la riqueza de hongos ectomicorrizógenos en los bosques de Chihuahua <i>Miroslava Quiñónez-Martínez, Toutcha Lebgue Keleng, Pablo Lavín-Murcio</i> y <i>Susana Bernal-Carrillo</i>	9
Inhibición de la germinación de esporangiósporas de <i>Mucor rouxii</i> CDBB-H-287 y <i>Cunninghamella echinulata</i> CDBB-H-260 por fenantreno <i>Jorge Arturo López Romero, María Teresa Rodríguez Casasola, Raquel Campos Espejel,</i> <i>Carlos Cruz Mondragón, Elvira Ríos Leal y Fernando José Esparza García</i>	17
Ganancia de peso de corderos de pelo alimentados con una dieta integral de <i>saccharina</i> y un pro-biótico <i>K. Blardony-Ricardez, R. González-Garduño, J. A. Ramos-Juárez, P. Díaz-Rivera</i> y <i>A. Elías-Iglesias</i>	29
Distribución espacial de contaminantes atmosféricos en zona marino-costera occidental de Cuba <i>M. A. Díaz y L. Rivas</i>	37
Zonificación y elaboración de cartografía por riesgo de inundación en la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, en Guerrero <i>Justiniano González González, Maximino Reyes Umaña y Gloria Torres Espino</i>	45
Cumplimiento del diseño y elaboración del Programa de Protección, Conservación y Manejo (PCYM) de la “Laguna de Zapotlán” sitio Ramsar núm. 1466. Humedal de importancia internacional <i>J. Guadalupe Michel Parra, Justiniano González González, Oziel Dante Montañez Valdez,</i> <i>Manuel Guzmán Arroyo y Carlos Gómez Galindo</i>	65



ABSTRACTS

Effect of disturbance on ectomycorrhizal fungi richness in forests of Chihuahua

*Miroslava Quiñónez-Martínez, Toutcha Lebgue Keleng, Pablo Lavín-Murcio,
and Susana Bernal-Carrillo*

9

Chihuahua is one of the Mexican states with the larger forested surfaces in the country. Those forests are characterized mainly by pine-oak associations which have been transformed in many areas by anthropogenic activities, such as logging and uncontrolled burning. The effects of those actions on ectomycorrhizal fungi (EMF) include changes in species composition and decreased abundances. This project has the goal to use the EMF as forest health indicators and to evaluate the severity of disturbance by their variation in diversity.

Key words: mycorrhizal, Tarahumara, impact, esporomas.

Inhibition of germination of sporangiospores of *Mucor rouxii* CDBB-H-287 and *Cunninghamella echinulata* CDBB-H-260 by phenanthrene

*Jorge Arturo López Romero, María Teresa Rodríguez Casasola, Raquel Campos Espejel,
Carlos Cruz Mondragón, Elvira Ríos Leal, and Fernando José Esparza García*.....

17

Inhibition by phenanthrene was determined in germinating sporangiospores of fungi *Mucor rouxii* Zygomycetes CDBB-H-287 and *Cunninghamella echinulata* CDBB-H-260.

The phenanthrene caused inhibition in the germination of spores for *Mucor* and *Cunninghamella* was 55% and 90% respectively. One of the important point in this study was to observe the process of germination by visible light microscopy during liquid fermentation in phenanthrene of the fungus *Mucor rouxii* and *Cunninghamella echinulata*. It was further demonstrated the ability of fungus to biotransform phenanthrene a more polar compound, it was observed using a technique of thin layer chromatography in silica gel fluorescent of residual phenanthrene and the product formed.

Weight gains of hair lambs feeding with integral diet based on saccharina and one probiotic

*K. Blardony-Ricardez, R. González-Garduño, J. A. Ramos-Juárez, P. Díaz-Rivera,
and A. Elías-Iglesias*

29

The study was carried out to determine the effect of one probiotic on growth of hair lambs feeding with saccharina. The experiment was conducted in Salto de Agua, Chiapas, Mexico. Two groups of six females and two groups of five males received a cane-based fermented food (saccharina) fortified with 20% of sorghum and only two groups received the probiotic during 84 days. Live weight was recorded fortnightly

to calculate the average daily gain weight (DGW). The daily intake was recorded. The general DGW was 0.13 ± 0.05 kg. The group of male lambs had a higher DGW (0.157 ± 0.07 kg) than females (0.106 ± 0.06 kg). The daily intake (y) had lineal fit $y = 1.573 + 16 \text{ g} * (\text{day})$, with a determination coefficient of 0.8. It is concluded that the addition of the probiotic not affect the DGW in sheep feeding with saccharina.

Key words: *Lactobacillus*, sheep feeding, fermented sugarcane.

Spatial distribution of atmospheric pollutants at the Cuban marine and coastal northwest zone

M. A. Díaz and L. Rivas37

Spatial distribution of air pollutants at the Cuban marine and coastal northwest zone was determined with the purpose to evaluate the air quality for the environmental baseline of oil exploration offshore wells. Thirty sampling stations were selected at the zone included from San Antonio Cape to Cabañas, it were taken integrated pollutants samples (average of 600 determinations at 10 minutes) from a ship and on the coastal fringe. Average H₂S concentration at the zone was high in relation to the established maximal value for air quality at inhabited sites and it was associated with natural emissions of sulphur compounds from the natural decomposition of marine vegetation. SO₂ and NO_x concentration values comply with the air quality standards and it presents a similar distribution between the sampling stations, in agreed with the distance from the emission sources.

Key words: distribution, pollutants, coastal.

Zoning and development of flood risk mapping along the bottom of the basin river La Sabana-Laguna de Tres Palos, in Guerrero state

Justiniano González González, Maximino Reyes Umaña, and Gloria Torres Espino45

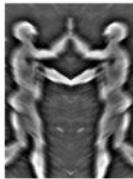
This research is a very important proposal for any city in the world, but especially for the places with the highest risk of disaster weather events. Geographic Information Systems (GIS) are currently a very useful tool for disaster prevention.

Compliance design and development for Protection, Preservation and Management Program of “Laguna de Zapotlán” Ramsar site No. 1466. Wetland of international importance

J. Guadalupe Michel Parra, Justiniano González González, Oziel Dante Montañez Valdez, Manuel Guzmán Arroyo, and Carlos Gómez Galindo65

Design and development for the Protection, Preservation and Management Program at “Laguna de Zapotlán”, wetland of international importance Ramsar site No. 1466, approved by the State Committee for Environmental Protection of Wetlands of Jalisco (CEPAHJ, 2005), and the National Commission of Natural Protected Areas were 100% completed. Work performance was adopted, implemented and evaluated for the preservation, protection, management, restoration, knowledge, and negotiation subprogrammes

(Communication, Education, Awareness and Public Participation). The design was under Agenda for Protection, Preservation and Management of Wetland 2012, and the national guidelines of the General Law of Ecological Balance and Environmental Protection and Ramsar Convention guidelines. Data collection was performed involving multidisciplinary and intersectional groups of scholars, governments and organized producers, using an intervention methodology that was descriptive, observational, ecological, diagnostic, productive and prospective.



Influencia del disturbio en la riqueza de hongos ectomicorrizógenos en los bosques de Chihuahua

Miroslava Quiñónez-Martínez,¹ Toutcha Lebgue Keleng,² Pablo Lavín-Murcio,¹
Susana Bernal-Carrillo³

RESUMEN

Chihuahua es uno de los estados con mayor superficie forestal en México caracterizado por sus bosques de coníferas, cuya vegetación mayormente es pino y encino. Sin embargo, existen zonas impactadas por alteraciones antropogénicas del suelo, principalmente tala y quema, que generan disminución y cambios en la composición de especies de hongos, principalmente de tipo ectomicorrizógeno (HEM). En la presente contribución se resalta la importancia de los estudios ecológicos de HEM en zonas con disturbio de bosques de Chihuahua, que permitan relacionar a través de la riqueza de especies de hongos la severidad del daño y sirvan como indicadores del estado de conservación del ecosistema.

Palabras clave: micorriza, Tarahumara, impacto, esporomas.

INTRODUCCIÓN

En los bosques, tanto tropicales como de coníferas, la dinámica de la vegetación ha sido afectada por procesos de disturbio, naturales o antropogénicos, donde fragmentos de los bosques son cortados, quemados y cultivados por un periodo transitorio cambiando profundamente los patrones de heterogeneidad del suelo (Onaindia *et al.*, 2004).

El análisis de los cambios que ocurren en la vegetación a través del tiempo y del espacio permite entender cómo operan los procesos de regeneración, sucesión o degradación de los ecosistemas. Los resultados de este análisis indican que el ser humano es el principal agente transformador de los ecosistemas. El impacto de sus actividades ha generado a escala mundial y regional diferentes

1 Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

2 Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

3 Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.

efectos, principalmente: pérdida de la biodiversidad, deforestación, pérdida del hábitat y cambios en la distribución y abundancia de la vida silvestre (Márquez-Linares *et al.*, 2005).

Por la eliminación de la vegetación dominante, se han incrementado los niveles de luz formando bosques secundarios producto de una sucesión, proceso ecológico donde la estructura y composición de una comunidad de plantas cambia a través del tiempo y espacio.

Por otra parte, en estos bosques se desarrollan esporomas de hongos verdaderos en diferentes sustratos, cumpliendo con un importante rango de funciones ecológicas: los hongos saprobios, que descomponen la materia orgánica muerta; los parásitos, la materia orgánica viva; y los hongos ectomicorizógenos (HEM), que son considerados un grupo clave funcional en la regulación de los nutrientes que circulan entre el suelo y las plantas en la mayoría de los ecosistemas de bosques de coníferas y que, además, forman una simbiosis mutualista (Pilz y Molina, 2001), que permite una mayor resistencia a los cambios ambientales del medio circundante.

En relación con lo anterior, existen estudios que describen el nexo entre la recuperación de ecosistemas perturbados y la comunidad de HEM. Algunas investigaciones muestran una total reducción de la riqueza de HEM y cambios significantes en la composición de las especies después de un aclareo o tala (Wiensczyk *et al.*, 2002), así como una correlación positiva entre la mortalidad de hongos ectomicorizógenos, incrementada por la intensidad del fuego y la mortalidad de los árboles (Dahlberg *et al.*, 2001).

A pesar de la importancia de los HEM en la estructura y función del ecosistema, los estudios ecológicos de campo de estos organismos han sido relativamente limitados. La mayoría de las investigaciones publicadas han sido relacionadas a hongos hipogeos, que ecológicamente son una parte importante del grupo de los HEM, pero sólo constituyen, aproximadamente, 20% de todas las espe-

cies de ectomicorizas, mientras 80% son epigeos. La abundancia de esporomas de especies como *Astraeus hygrometricus* y *Laccaria laccata* se ha registrado en áreas frecuentemente impactadas o en un estadio temprano de sucesión.

EFFECTOS DEL DISTURBIO EN EL ECOSISTEMA DE BOSQUE

La dinámica de una comunidad ecológica es frecuentemente descrita por cambios en la composición de las especies a través del tiempo. El término sucesión se refiere precisamente a estos cambios, donde el disturbio, la dispersión, la colonización y las interacciones de las especies producen patrones y variabilidad en una escala temporal-espacial, aunque el concepto de sucesión es considerado por largo tiempo hasta llegar a una comunidad estable única o clímax (Forrest Hill *et al.*, 2004; Imbrozio y Fearnside, 2005).

El ecosistema de bosque representa en México una gran porción de área del sistema terrestre y, en algunos estados, los bosques templados y tropicales son rápidamente convertidos a suelos agrícolas o ganaderos y expuestos a quemadas o tala, que transforman el ecosistema en una importante fuente de emisiones de gases de invernadero.

En las entidades del norte de México que forman parte de la Sierra Madre Occidental, particularmente Chihuahua y Durango, se han registrado cambios en la vegetación en algunas áreas de bosques de coníferas, cuyas altitudes oscilan de 1900 a 2700 msnm, originalmente ocupados por bosques de pino y pino-encino, caracterizados por: *Pinus arizonica*, *P. ponderosa*, *P. engelmanni*, *P. chihuahuana* y *P. cembroides*, asociados con: *Quercus arizonica*, *Q. sideroxyla*, *Q. rugosa*, *Q. coccolobifolia*, *Q. chihuahuensis* y *Q. grisea*, entre otras especies de encinos (González, 1992; Quiñónez-Martínez *et al.*, 2008a), que han sido desplazados por chaparrales y matorrales secundarios dominados por: *Arctostaphylos pungens*, *Quercus deppressipes*, *Q. microphila* y *Packeria candidissima* (Márquez-Linares *et al.*, 2005; Quiñónez-Mar-



Figura 1. Zona afectada por la tala de *Pinus arizonica*, Bocoyna, Chih. (Foto: Miroslava Quiñónez M.)

tínez *et al.*, 2009), principalmente por efecto de la tala y quema de alta intensidad, lo cual ha generado como consecuencia ecológica, la disminución de la cobertura, biomasa, cambio en la textura del suelo, incremento de luz en el suelo, etcétera (figura 1).

En el país la tasa de deforestación alcanza cifras anuales de 800 000 ha., por ello es urgente el uso de herramientas biológicas que aseguren el establecimiento exitoso de las especies vegetales, así como mayor velocidad de crecimiento y respuesta a la competencia y perturbación. Entre estas herramientas importantes se encuentran los microorganismos del suelo y las micorrizas, que tienen un papel preponderante debido a su gran diversidad de funciones como son: la descomposición de compuestos orgánicos y la degradación de contaminantes, útiles en la restauración de suelos y vegetación (Ramos-Zapata y Guadarrama, 2004).

RELACIÓN DEL DISTURBIO CON LA DIVERSIDAD DE HONGOS

Algunas actividades del bosque como aclareos, fuego natural y prescrito, pastoreo y recreación pueden cambiar el carácter del suelo forestal y la comunidad de hongos, principalmente de tipo HEM, aunque ciertas especies tienden a tener resistencia al disturbio. Por ejemplo, un estudio señala que la

compactación y eliminación del suelo forestal disminuyó en un 60% la abundancia y diversidad de HEM en plantaciones de *Pseudotsuga menziesii*; en cambio, la diversidad de HEM en pino blanco no fue afectada (Amaranthus *et al.*, 1996; tomado de Wiensczyk *et al.*, 2002). Los efectos del fuego en los hongos son diversos. La uniformidad, profundidad, intensidad y penetración de calor en el suelo pueden variar con el grosor y el contenido de humedad en el mismo, así como el tipo y carga de combustible, teniendo un efecto negativo, positivo o insignificante en el desarrollo del micelio de los hongos y de las ectomicorrizas, dependiendo de la especie involucrada. Varios estudios han demostrado que a mayor intensidad de fuego disminuye la diversidad de HEM (Dahlberg *et al.*, 2001). Asimismo, la equitatividad de las especies tiende a disminuir más en sitios quemados por la dominancia de especies que se adaptan a esta condición del suelo. Quiñónez-Martínez *et al.* (2008b) reportan la más baja equitatividad de HEM en una zona de quema en un bosque de *Pinus arizonica* en la Sierra Tarahumara, en comparación con una plantación juvenil e inclusive una zona de tala, atribuidos por una baja riqueza de especies ($n = 5$) y principalmente la dominancia de 63% de *Astraeus hygrometricus* (figura 2), que es un HEM que aparentemente se adapta

a condiciones de suelo abierto. Igualmente, la zona de tala presentó cinco especies, pero con 44% de abundancia de *A. hygrometricus*. En ambas áreas de daño hubo con diferentes frecuencias otras especies: *Inocybe splendens* y *Laccaria laccata*, comunes en plantaciones de regeneración forestal, todas y cada una de ellas, funcionan como indicadores de diferente nivel de disturbio o de condición del bosque. También se registraron pocos esporomas de otras especies como: *Russula emetica*, *Amanita citrina* y *Suillus pseudobrevipes*, pero cercanas al límite con un bosque inalterado.

Según Wiensczyk *et al.* (2002) muchas raíces ectomicorrizógenas mueren o desaparecen después de un aclareo. Sin embargo, otras fuentes de inóculo fungal ectomicorrizógena pueden permanecer, como son los esclerocios u esporas, aunque no hay mucha información de cómo es que permanecen viables en el suelo.

A las pocas semanas posteriores a un incendio, el pH se encuentra generalmente entre 4 a 7, siendo difícil el desarrollo de esporomas de hongos en el bosque perturbado por quema (Dahncke, 2012), a excepción de los que requieren un pH elevado. Sin embargo, dependiendo de la abundancia de las lluvias, es posible hallar algunos cuerpos fructíferos, principalmente *Anthracobia mueller*, *A. melaloma* y *A. macrocystis* (figura 3), la cual tiene como ca-



Figura 2. Esporomas de *Astraeus hygrometricus* (Pers.) Morgan (Foto: Miroslava Quiñónez M.)

racterística un ascocarpo de 30 a 60 mm de diámetro, sin pie, en forma de copa abierta de color amarillo-anaranjado, con margen lobulado y peloso, que crece como saprobio sobre suelo quemado. Este género se ha presentado en algunas zonas quemadas del municipio de Ocampo en los bosques de Chihuahua (figura 4).

IMPORTANCIA DE LA ECOLOGÍA DE LOS HONGOS ECTOMICORRIZÓGENOS

Muchos estudios mencionan el rol funcional del HEM en el ecosistema: el mejoramiento en la toma de nutrientes esenciales y agua, protección contra patógenos, creación de una estructura de suelo favorable (Walker *et al.*, 2005), que determinan en gran parte el mantenimiento ecológico de las comunidades forestales.

Los HEM dependen de su planta hospedera para los carbohidratos y los niveles de infección micorrízica, y han sido fuertemente asociados a la cantidad de luz disponible y por lo tanto, a la producción de fotosintato por la planta. El ambiente de luz puede también influir en cómo la presencia del HEM exhibe un alto grado de especificidad ecológica. No obstante, es poco conocido el rol ecológico de los hongos en la regeneración de la cobertura abierta, mecanismo por el cual ellos operan.

La disminución de la riqueza de las especies de HEM en Europa ha conducido a muchas a ser listadas como raras o amenazadas. En el Pacífico noroeste de Estados Unidos, las agencias federales de manejo de la tierra son requeridas para el manejo o sobrevivencia de más de 225 especies de hongos, de las cuales casi la mitad son HEM. Debido a que concierne el crecimiento sobre los efectos de las prácticas de manejo del bosque en el destino de los hongos, la toma de datos es necesaria en las especies fungales y sus relaciones ambientales para ayudar al manejo del ecosistema (O'Dell *et al.*, 1999).

Los estudios de los macromicetes solamente dependen de la ocurrencia de cuerpos fructíferos, los cuales se presentan esporádicamente y requie-



Figura 3. Especie del género *Anthracobia*
(Foto: Miroslava Quiñónez M.)

ren de áreas grandes en tiempos largos para observar su comunidad. La mayoría de los datos de campo en ecología de especies de hongos ectomicorrízicos se basa en presencia de esporomas. Los estudios de la riqueza de especies de cuerpos fructíferos de hongos son la base primaria para comprender que proveen las funciones de alimento al ecosistema, involucrando mamíferos e insectos y para documentar la diversidad fungal. Los estudios de esporomas de comunidades de HEM típicamente no representan la diversidad fungal ectomicorrizógena bajo el suelo, pero son esenciales para discernir especies raras que forman esporomas obvias. Hay muchos hongos en todas partes del bosque que se desarrollan en el suelo, aunque su abundancia y dominancia puede cambiar con el tiempo o por el disturbio (Smith *et al.*, 2002).

ESTRATEGIAS DE RECUPERACIÓN DEL BOSQUE

La conservación de la diversidad biológica requiere de la instrumentación de acciones que contemplen las diferentes causas del deterioro ecológico y aprovechen las alternativas prácticas para el desarrollo sustentable. Los proyectos para el uso o manejo de los recursos bióticos deben considerar los conocimientos que se tienen sobre la composición, distribución y estructura de la biodiversidad. De tal



Figura 4. Área afectada por incendio en Ocampo, Chih.
(Foto: Miroslava Quiñónez M.)

manera que la implementación de cualquier obra de desarrollo, ya sea turística, agrícola u otra, no represente la reducción de las especies ni la pérdida de hábitats o ecosistemas naturales (Cruz-Ulloa, 1999).

La regeneración artificial, por ejemplo, combinada con aclareo, es el núcleo elemental de los bosques en muchas regiones del mundo. Los estudios como los de Bürgi y Schuler (2003), dirigidos a analizar las prácticas de regeneración de los bosques, revelan que la economía, ecología, políticas y proyectos de manejo son las más importantes fuerzas de manejo en las prácticas de regeneración. La restauración ecológica, reintroduciendo especies vegetales nativas de ambientes limitantes, es una acción que puede contribuir efectivamente a revertir el proceso de deterioro de los ecosistemas. Las especies nativas suelen asociarse con organismos mutualistas que les dan ventajas funcionales adicionales, tal como sucede con las que forman micorrizas. Esta condición incrementa la capacidad de las plantas para tolerar condiciones desfavorables, como la escasez nutrimental e hídrica, que son características de suelos degradados (Martínez y Pérez *et al.*, 2009), pudiendo ser una alternativa potencial para la restauración de suelos.

El uso de este tipo de simbiosis puede ser una ayuda biotecnológica, comestible y, en algunos ca-

sos, puede restablecer la calidad del suelo que ha sido devastado por deforestación, desertificación o quema natural, por lo que la mayoría de los estudios realizados muestran que las comunidades ectomicorrízicas se han podido establecer en bosques de coníferas, a excepción del bosque de *Eucalyptus regnan*, por el bajo contenido de materia orgánica y la poca disponibilidad de nutrientes para las plantas. Sin embargo, las micorrizas pueden ser distinguidas de los hongos patógenos por la presencia de micelios visibles que rodean la raíz y la ausencia de descomposición.

En México, desde 1975, se realiza un método silvícola de repoblación natural de árboles padres, que ha resultado práctico, de bajo costo y beneficioso para varias especies; sin embargo, todo depende de la calidad del suministro de semilla. *Pinus arizonica* presenta un potencial para repoblarse naturalmente, aunque tiene algunos aspectos silvícolas que aún se desconocen y que están relacionados con la cobertura basal en los árboles padres (Chacón *et al.*, 1998).

En Chihuahua se desarrolla una gran cantidad de HEM asociados a *P. arizonica*, principalmente en la parte alta de la Sierra Tarahumara. Con este estudio se puede beneficiar el desarrollo o la recuperación de los bosques en sitios alterados o con disturbio, a través de la colonización de especies de HEM en plántulas de *P. arizonica*, *P. engelmannii* var. *durangensis* y *Picea chihuahuana* en actividad micorrízica con *Pisolitus tinctorius* y *Astraeus hygrometricus*. Actualmente, en invernaderos del municipio de Bocoyna usan las esporas de especies de hongos ectomicorrizógenos *Amanita caesarea* y *Boletus pinophilus* (por su valor comestible) y mezclas de otras especies que se desarrollan de manera silvestre en la región para inocularlas en las plántulas de pino, principalmente *Pinus arizonica* y *P. engelmannii*, con el objetivo de obtener un mejor desarrollo y resistencia al trasplante de las áreas naturales en los bosques de coníferas.

CONCLUSIONES

Existe una marcada reducción de la riqueza de esporomas de hongos ectomicorrizógenos en zonas con daños antropogénicos, mayormente causados por la tala excesiva o el nivel de incendio forestal en los bosques de Chihuahua, debido posiblemente a la eliminación del micelio presente en el suelo y de la materia orgánica. Sin embargo, es posible encontrar algunas pocas especies como *Astraeus hygrometricus* y *Anthracobia sp.*, que se adaptan a estas condiciones, funcionando como indicadores de disturbio en dichas zonas. Por ello, es vital la implementación de estrategias de recuperación de las especies de hongos que se desarrollan en estos bosques. La mayoría de los estudios relacionados al conocimiento de la composición de HEM y su distribución coinciden en la importancia de recuperar el bosque a través del aprovechamiento de la asociación ectomicorrizógena en especies de plantas nativas con uso potencial para la restauración de suelos, teniendo como base los estudios ecológicos de HEM y el análisis de la especificidad de micorrización con las especies vegetales, principalmente de interés comercial. Las técnicas actuales como la producción y propagación de micelio en cultivos de laboratorio y su inoculación en plántulas bajo condiciones de invernadero, es una alternativa biotecnológica que puede permitir el incremento y mejora de la producción forestal, aunado a la conservación del ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Mixto (Fomix) Conacyt-Gobierno del Estado, bajo el Proyecto con clave: CHIH-2011-C03-174148, por los recursos otorgados para la realización del trabajo de investigación del presente artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bürgi, M., A. Schuler (2003). "Driving Forces of Forest Management, an Analysis of Regeneration Practices in the Forests of the Swiss Central Plateau during the 19th and 20th centuries". *Forest Ecology and Management*, 176, 173-183.
- Cruz-Ulloa, B. S. (1999). "Micorrización en la conservación de los bosques". *Ciencia Ergo Sum*, 6(2), 159-164.
- Dahlberg, A., J. Schimmel, A. Taylor y Johansson (2001). "Post-fire Legacy of Ectomycorrhizal Fungal Communities in the Swedish Boreal Forest in Relation to Fire Severity and Logging Intensity". *Biological Conservation*, 100, 151-161.
- Dahncke, R. M. (2012). *Las setas después del incendio. Medio natural de las Islas Canarias*. Disponible en: <http://www.sociedadmicologicade-tenerife.es/LaTurma/pdf>.
- Forrest Hill, M., J. D. Witman, H. Caswell (2004). "Markov Chain Analysis of Succession in a Rocky Subtidal Community". *The American Naturalist*, 164, 46-61.
- González E., M. S. (1992). "Los bosques templados secos y semisecos en Durango, México". *Seminario Ecología de ambientes áridos y semiáridos*. Memoria del Instituto de Ecología. Xalapa, Méx.
- Imbrozio, B. R., P. M. Fearnside (2005). "Fire Frequency and Area Burned in the Roraima Savannas of Brazilian Amazonia". *Forest Ecology and Management*, 204, 371-384.
- Márquez-Linares, M. A., E. J. Treviño, E. Jurado (2005). "Reemplazo de áreas arboladas por chaparrales y comunidades herbáceas en el periodo 1970-2000 en una microcuenca de Durango, México". *Investigaciones Geográficas*, 58. UNAM, 54-65.
- Martínez y Pérez, J. L., L.V. Hernández, M. G. Santiago-Martínez, F. Legorreta (2009). *Manual para la propagación y micorrización de plantas arbustivas silvestres para la restauración de suelos degradados*. Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- O'Dell, T. E., J. F. Ammirati, E. G. Schreiner (1999). "Species Richness and Abundance of Ectomycorrhizal Basidiomycete Sporocarps on a Moisture Gradient in the *Tsuga heterophylla* zone". *Can. J. Bot.*, 77, 1699-1711.
- Onaindia, M., I. Domínguez, I. Albizu, C. Garbisu, I. Amézaga (2004). "Vegetation Diversity and Vertical Structure as Indicators of Forest Disturbance". *Forest Ecology and Management*, 195, 341-354.
- Pilz, D., R. Molina (2001). "Comercial Harvests of Edible Mushrooms from the Forests of the Pacific Northwest United States: Issues, Management, and Monitoring for Sustainability". *Forest Ecology and Management*, 5593, 1-14.
- Quiñónez-Martínez, M., P. Lavín-Murcio, S. Bernal-Carrillo, F. Garza-Ocañas, T. Lebgue-Keleng (2009). "Relación entre la riqueza florística y fungística en bosques impactados de la Sierra Tarahumara, Chihuahua, México". *Memoria en extenso*. 2^{do}. Congreso Internacional de Investigación.
- Quiñónez-Martínez, M., F. Garza, M. Sosa, T. Lebgue-Keleng, P. Lavín, S. Bernal (2008a). "Índices de diversidad y similitud de hongos ectomicorrizógenos en bosques de Bocoyna, Chihuahua, México". *Ciencia Forestal en México*, 33(103), 59-78.
- Quiñónez-Martínez, M., T. Lebgue-Keleng, R. Corral-Díaz, P. Lavín-Murcio, A. de la Mora-Covarrubias, M. Sosa-Cerecedo (2008b). "Diversidad de la vegetación en cuatro comunidades forestales con grado de disturbio en el municipio de Bocoyna, Chihuahua". *Ciencia en la Frontera*, vi, 141-147.
- Ramos-Zapata, J., P. Guadarrama (2004). "Los hongos micorrizógenos arbusculares en la restauración de comunidades tropicales". *Universidad y Ciencia*. Número especial, 59-65.
- Simmard, S. W., R. Molina, J. E. Smith, D. A. Perry, M. D. Jones (1997). "Shared Compatibility of Ectomycorrhizae on *Pseudotsuga menziesii* and *Betula papyrifera* seedlings Grown in Mixture in Soils from Southern British Columbia". *Canadian Journal of Forest Research*, 27, 331-342.

Smith, J. E., R. Molina, M. P. Huso M., D. L. Luoma, D. McKay, M.A. Lebel Castellano, Y. Valachovic (2002). "Species Richness, Abundance, and Composition of Hypogeous and Epigeous Ectomycorrhizal Fungal Sporocarps in Young, Rotation-age, and Old-growth Stands of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) in the Cascade Range of Oregon, U.S.A.". *Can. J. Bot.*, 80, 186-204.

Walker, J. F., O. K. Miller, Jr., J. L. Horton (2005). "Hyperdiversity of Ectomycorrhizal Fun-

gus Assemblages on Oak seedlings in Mixed Forests in the Southern Appalachian Mountains". *Molecular Ecology*, 14, 829-838.

Wiensczyk, A. M., S. Gamiel, D. M. Durall, M. D. Jones, S. W. Simmard (2002). "Ectomycorrhizae and Forestry in British Columbia: a Summary of Current Research and Conservation Strategies". *B. C. Journal of Ecosystems and Management*, 2(1), 1-20.

Inhibición de la germinación de esporangiósporas de *Mucor rouxii* CDBB-H-287 y *Cunninghamella* *echinulata* CDBB-H-260 por fenantreno

Jorge Arturo López Romero,¹ María Teresa Rodríguez Casasola,¹ Raquel Campos Espejel,²
Carlos Cruz Mondragón,¹ Elvira Ríos Leal,¹ Fernando José Esparza García¹

RESUMEN

Se estudió la inhibición de la germinación de esporangiósporas de los hongos zygomycetos *Mucor rouxii* CDBB-H-287 y *Cunninghamella echinulata* CDBB-H-260 por fenantreno.

La inhibición de la germinación de esporangiósporas para *Mucor* y *Cunninghamella* fue de 55% y 90%, respectivamente. Uno de los puntos importantes en este trabajo fue observar el proceso de germinación por microscopia de luz visible durante la incubación líquida de los hongos *Mucor rouxii* y *Cunninghamella echinulata*. Además, se demostró la capacidad de los hongos mencionados de biotransformar al fenantreno en un compuesto más polar, lo cual se pudo determinar empleando una técnica de cromatografía en capa delgada de gel de sílice fluorescente del fenantreno residual y del producto formado más polar.

1 Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional núm. 2508, col. San Pedro Zacatenco, Delegación Gustavo A. Madero, México, D.F.; código postal 07360, e-mail: george11@live.com.mx, Tel. (55) 5747 3800 ext. 4330.

2 Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.

INTRODUCCIÓN

Los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) son compuestos que están formados por átomos de carbono e hidrógeno, agrupados en anillos aromáticos de 5 o 6 átomos de carbono. Los HAP son generados durante la combustión incompleta de carbón, aceites, madera, residuos domésticos y, en general, de sustancias de origen orgánico. Se encuentran de forma natural en el petróleo, carbón, alquitrán y como productos de la utilización de combustibles (Galván, 2009; New Jersey, 1999; Federación de Industria, 2010). El interés de estos compuestos es porque algunos han sido reportados principalmente como mutagénicos [6]. Sus características lipofílicas permiten la bioacumulación en mamíferos (New Jersey, 1999; Federación de Industria, 2010).

El fenantreno es un HAP tricíclico, cristalino, incoloro, con un olor débil. Se usa en la fabricación de pinturas, explosivos, drogas y en la investigación biológica (la estructura química del fenantreno puede observarse en la figura 1). Su presencia en mamíferos no es mutagénica, pero la exposición al fenantreno provoca irritación en piel, ojos y vías respiratorias (Federación de Industria, 2010). El fenantreno está clasificado por la International Agency for Research on Cancer (IARC) en el Grupo 2B como un compuesto posiblemente cancerígeno para los seres humanos (Federación de Industria, 2010).

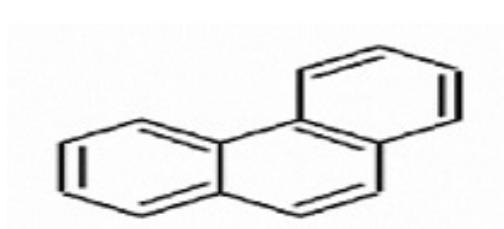


Figura 1. Estructura del fenantreno.

Los hongos zygomycetos *Cunninghamella* (figura 2) y *Mucor* (figura 3) son típicamente saprobios, presentan reproducción asexual (esporangiósporas o conidiósporas) y sexual (fusión de gametangios). La formación del micelio es profusa y se constituye por numerosas hifas sin septas (García, 2004). En el ápice del túbulo germinal se lleva a cabo la síntesis de nuevo material celular y en ocasiones, se forman estructuras esféricas llamadas esporangios, las cuales en su interior contienen esporangiósporas que después de 48 horas son liberadas (Ulloa, 1978; Pernia, 2012; Herrera, 2004). En la figura 2 se observa a *Cunninghamella*, hongo que presenta la estructura de esporangios y esporangiósporas que están suspendidos de una hifa (Herrera, 2004).

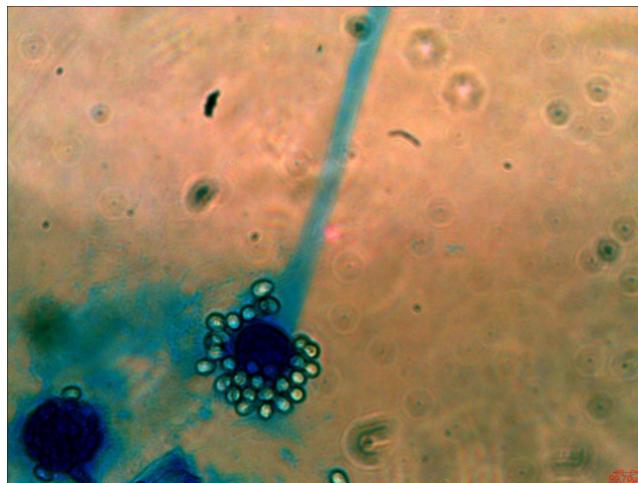


Figura 2. *Cunninghamella echinulata*.

En la figura 3 se observa a *Mucor*, que también presenta al esporangio, el cual contiene a las esporangiósporas y están suspendidos de una hifa. Es importante observar la mayor cantidad de esporas en comparación con *Cunninghamella* (Herrera,

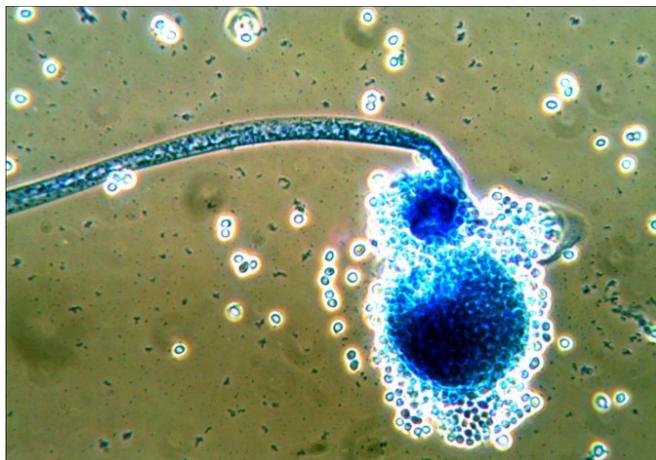


Figura 3. *Mucor rouxii*.

Algunos hongos zygomycetos son capaces de biotransformar a HAP en compuestos de mayor polaridad cromatográfica y en algunos casos, se ha demostrado ser menos tóxicos (Sánchez, 2011). *Mucor rouxii* IM-80 crece a diferentes concentraciones de fenantreno con daños en las estructuras y un retardamiento en la germinación de las esporas. Este hidrocarburo es biotransformado en subproductos más polares, es decir, un proceso de detoxificación (Sánchez, 2011). También *Cunninghamella echinulata* tiene la capacidad de degradar compuestos del petróleo en suelos contaminados de manera aislada y en un consorcio (Pernia, 2012). Además, *Cunninghamella echinulata* se ha evaluado en suelos contaminados por HAP, donde se demostró la degradación de compuestos como: fenantreno, benzo (a) pireno, benzo (k) fluoranteno, etcétera (Lisowska, 2005).

El objetivo de este trabajo es demostrar la capacidad de *Mucor rouxii* y *Cunninghamella echinulata* para biotransformar el fenantreno en un compuesto menos tóxico.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Concentración del contaminante

Se preparó una solución de fenantreno al 10% en etanol, de esta solución se añadieron las diferentes alícuotas a matraces con medio de cultivo para ob-

tener concentraciones de 100 y 200 mg/L de fenantreno (Sánchez, 2011).

2. Suspensión de esporas

Se preparó un “stock” de esporas de un cultivo en placa de 20 cm de diámetro, de donde fueron separadas las esporas con ayuda de un “scraper” estéril, agregando 30 ml de agua destilada estéril. Se hizo una cuenta de esporas en cámara de Neubauer, obteniéndose lo siguiente: $6.25 \cdot 10^6$ esporangiosporas/ml de *Mucor rouxii* y $8.00 \cdot 10^4$ esporangiosporas/ml de *Cunninghamella echinulata* (Ramírez, 2000).

3. Fermentación líquida de los hongos Mucor rouxii y Cunninghamella echinulata

Se inoculó con 1 ml de la suspensión de esporas de *Mucor rouxii* y *Cunninghamella echinulata* en matraces de 125 ml con 25 ml de medio líquido YPG modificado (extracto de levadura, 3 g; peptona de carne, 10 g; glucosa, 20 g, en 1 litro de agua destilada). Finalmente, se adicionó fenantreno disuelto en etanol a concentraciones finales de 100 y 200 mg/l; además, se tenía un testigo sin fenantreno. Posteriormente fueron incubados a 0, 4, 8 y 24 h a 30 °C a 160 rpm (Sánchez, 2011).

4. Cinética de crecimiento

Los matraces fueron incubados a 30 °C por 0, 4, 8 y 24 h a 160 rpm. Se determinó el crecimiento de los hongos midiendo biomasa en base seca en filtros de nailon Millipore de 0.45 μm de diámetro de poro (Rodríguez, 2002).

5. Microscopia de luz visible

De los matraces incubados a diferentes tiempos, se tomó 1 ml de muestra para observarse al microscopio con la finalidad de hacer una descripción morfológica de los dos hongos a las 0, 4, 8 y 24 h de incubación (Ramírez, 2002).

6. Cromatografía en capa delgada de los subproductos de biotransformación del fenantreno por los hongos *Mucor rouxii* y *Cunninghamella echinulata*

En una cámara para cromatografía en un cromatofolio de gel sílice fluorescente, se aplicó una muestra testigo de fenantreno y los subproductos de biotransformación en volúmenes de 300 μL de las incubaciones de 24 h. Se adicionaron a la cámara 90 ml de acetato de etilo como fase móvil, dejando correr la muestra por 1 h; después se observó con una lámpara de luz UV de onda de longitud corta y larga y se tomaron fotografías (Sánchez, 2011).

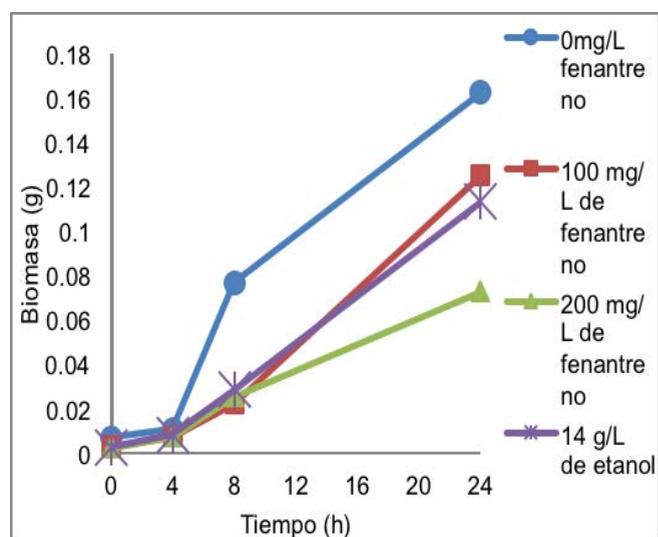
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto tóxico se define como la alteración del funcionamiento biológico normal de un microorganismo provocado por un agente ajeno al mismo. En este caso se trata de un compuesto xenobiótico, o sea, el fenantreno (University of Arizona, 2004).

Las gráficas 1 y 2 muestran el crecimiento medido como gramos de biomasa a las 0, 4, 8 y 24 h de incubación de los hongos *Mucor rouxii* y *Cunninghamella echinulata* a las diferentes concentraciones de fenantreno ensayadas.

En la gráfica 1 se observó que *Mucor rouxii* presentó una menor inhibición en las dos diferentes concentraciones de fenantreno. Durante las primeras 4 h de incubación, se observa una fase lag, donde las esporas sembradas inician la biosíntesis de nuevo material celular y posteriormente germinan para dar lugar al crecimiento de hifas (García, 2004). A 8 h de incubación se aprecia crecimiento y los valores de biomasa comienzan a dispersarse. El testigo sin fenantreno logra la mayor formación de biomasa en comparación a las muestras de 100 y 200 mg/l de fenantreno, donde es clara la inhibición de la germinación de las esporas y un retardo en el crecimiento micelial. Durante 24 h de incubación, el testigo sin fenantreno logra la mayor formación de biomasa, mientras que las diferentes concentraciones de fenantreno muestran una inhibición en su germinación, pero es importante resaltar que se

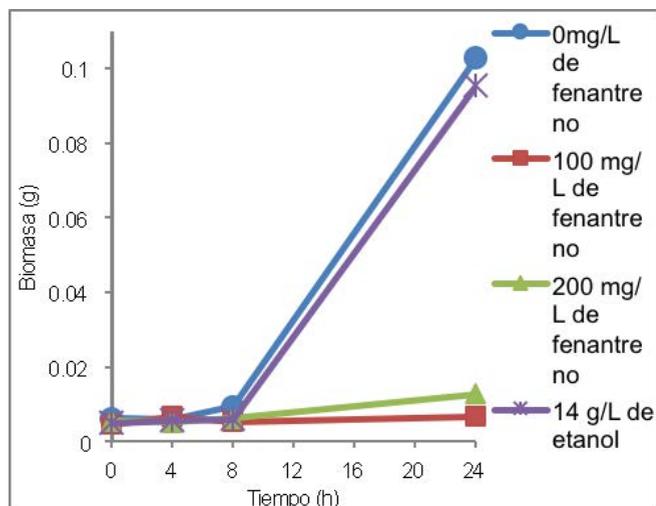
logra una desintoxicación, pues el proceso de germinación no se llevaría a cabo. Cabe resaltar que la muestra de etanol solamente fue un control para observar cómo afectaba la germinación del hongo, pues el fenantreno se disuelve en etanol para hacerlo disponible en el medio (Sánchez, 2011). Se observa que el etanol afecta la germinación de las esporas, sin embargo, solo existe un retardamiento en la germinación y posterior crecimiento, ya que no existe un daño celular (esto se observa en la tabla 1).



Gráfica 1. Biomasa de *Mucor rouxii* a las diferentes concentraciones de fenantreno y etanol por 24 horas de incubación.

En la gráfica 2 se observa que *Cunninghamella echinulata* presentó mayor inhibición en las diferentes concentraciones de fenantreno ensayadas, pues no se tuvo una diferencia significativa en la biomasa respectiva a las muestras de 100 y 200 mg/l de fenantreno. Esto es claro después de 8 h de incubación, pues en estas primeras horas se observa una fase lag de adaptación al medio. *Cunninghamella* en comparación con *Mucor rouxii* es más susceptible al fenantreno. A 24 h de incubación, los valores de biomasa se dispersan de manera significativa; no obstante, las muestras de 100 y 200 mg/l no demuestran una recuperación del hongo. Como se había mencionado antes, la muestra de etanol solo es un control para observar el comportamiento

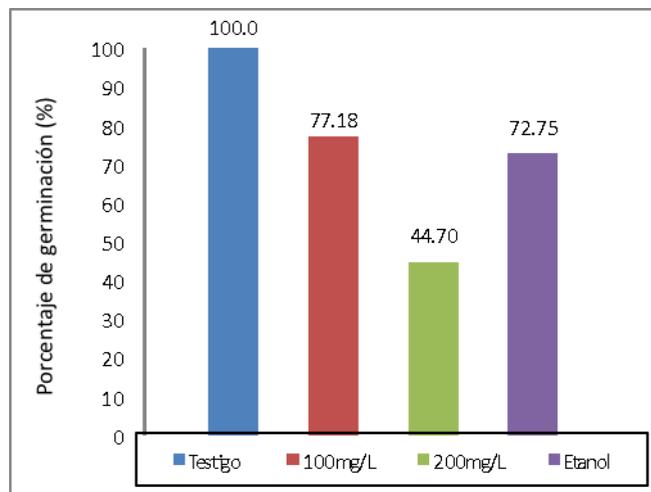
del hongo frente al disolvente; sin embargo, el etanol parece no afectar en la germinación del hongo y no demuestra un retardamiento significativo en su germinación. Por lo tanto, sus valores son equiparables al testigo sin fenantreno (esto se observa en la tabla 1).



Gráfica 2. Biomasa de *Cunninghamella echinulata* a las diferentes concentraciones de fenantreno y etanol por 24 horas de incubación.

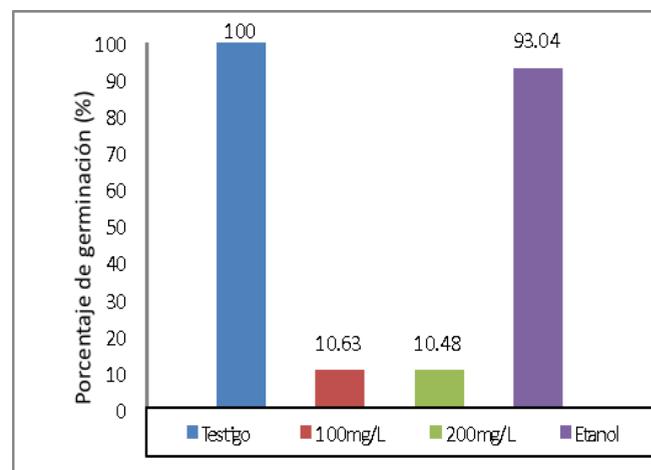
En las gráficas 3 y 4 se puede observar el porcentaje de germinación de los hongos *Mucor rouxii* y *Cunninghamella echinulata* en las diferentes concentraciones de fenantreno a 24 h de incubación.

En la gráfica 3 se observa al testigo sin fenantreno como referencia de un 100% de germinación para el hongo *Mucor rouxii*. Se presentan los valores de porcentaje de germinación a las diferentes concentraciones de fenantreno, donde la muestra de 200 mg/l de fenantreno expone el menor porcentaje de germinación con un 44.7%. Sin embargo, a 24 h de incubación se puede encontrar una recuperación de la espora, pues existe formación de biomasa, o sea, biosíntesis de material celular nuevo (esto se observa en la tabla 1). De la misma manera, existe un efecto tóxico en la muestra de 100 mg/l, pero el porcentaje de germinación es mayor, 77%, donde también se observa una recuperación del hongo.



Gráfica 3. Porcentaje de germinación de *Mucor rouxii* en diferentes concentraciones de fenantreno y etanol a 24 horas de incubación.

En la gráfica 4 se presentan los valores de porcentaje de germinación del hongo *Cunninghamella echinulata*, donde se observa un efecto tóxico por el fenantreno muy alto, pues en las diferentes concentraciones existe un 10% de germinación en comparación al testigo que se toma como referencia a 24 h de incubación.



Gráfica 4. Porcentaje de germinación de *Cunninghamella echinulata* en diferentes concentraciones de fenantreno y etanol a 24 horas de incubación.

A continuación las tablas 1 y 2 presentan las microfotografías de los hongos *Mucor* y *Cunninghamella* a un aumento de 400X, donde se puede observar el efecto tóxico del fenantreno en la germinación de las esporangiosporas. Algunas muestras fueron

observadas a un aumento de 100X para apreciar mejor la morfología de los hongos en estudio.

En la tabla 1 es posible observar a 0 h de incubación la presencia de esporas en todas las muestras, algunas teñidas y otras translúcidas sin color; esto puede suceder si la espora al ser separada del cultivo en placa ya había comenzado a germinar. Es preciso mencionar que las muestras fueron teñidas con azul de algodón para demostrar que se inicia la formación de nuevo material celular, ya que si la espora se teñía de color azul comenzaba a permear el medio nutritivo indicativo de formación de nuevo material celular, o sea, la formación de túbulo germinal que en sí es micelio; si las esporas se mantenían translúcidas entonces la pared de la espora que se constituye de quitina aún no cambiaba, por lo cual la espora es impermeable al colorante y permanecía con su estructura de protección, que es la espora, pues se encuentra en un medio tóxico. Después de 4 h de incubación, las esporas comienzan a hincharse, indicando el inicio de la síntesis de nuevo material celular (Cutright, 1995).

Durante 8 h de incubación comienza la formación del túbulo germinal en las muestras del testigo y el etanol, característica de *Mucor rouxii*. Por otra parte, las muestras de fenantreno también presentan la formación del túbulo germinal, pero este crecimiento no es característico del hongo, pues en comparación con el testigo la formación del túbulo no es uniforme. A 24 h de incubación la formación de micelio es muy profusa para las muestras del testigo sin fenantreno y la que contiene etanol, pero en las muestras de fenantreno la formación del túbulo germinal es más lenta, demostrando a este tiempo de incubación un efecto tóxico del fenantreno, pero además una posterior recuperación del hongo, ya que éste prosigue la germinación, lo que permite establecer que hay un proceso de desintoxicación (Ulloa, 1978; Sánchez, 2011).

En la tabla 2 se presenta en todas las muestras de 0 h de incubación la presencia de esporas, en la mayoría de los casos se muestran translúcidas y algunas ya se muestran teñidas. A 4 h de incu-

bación es posible observar la formación del túbulo germinal en las muestras de etanol y el testigo; en cambio, la muestra de 100 mg/l de fenantreno muestra esporas que aún no son teñidas, indicando que la espora mantiene la estructura de protección, pues se encuentra en un medio tóxico, pero también muestra esporas que están comenzando con la síntesis de nuevo material celular de una manera paulatina. La muestra de 200 mg/l presenta esporas translúcidas que aún no comienzan con la síntesis de nuevo material celular. A 8 h de incubación, el testigo presenta la formación de micelio característico del hongo, mientras que en la de etanol persiste la formación del túbulo germinal, pero es abundante en toda la muestra.

Para la muestra a 8 h de incubación de 100 mg/l, las esporas comienzan a hincharse, lo que indica la síntesis de nuevo material celular. Por otro lado, en la muestra de 200 mg/l de fenantreno hay esporas que se han teñido, pero algunas de éstas se ven dañadas, pues no conservan la estructura esférica que es característica del hongo. Ello demuestra que hay un efecto tóxico en la germinación de las esporas por el fenantreno. A 24 h de incubación, las muestras del testigo y la del etanol presentan la formación profusa de micelio, característica del hongo, pero en las muestras de 100 y 200 mg/l de fenantreno hay esporas de gran tamaño en comparación a la muestra de etanol a 8 h de incubación, donde se observó la formación del túbulo germinal. El gran aumento de tamaño de las esporas podría deberse a un efecto tóxico por el retardamiento en la germinación (Ulloa, 1978; Sánchez, 2011).

Este trabajo preliminar brinda información para, de acuerdo con los resultados, implementar la tecnología para un proceso por biorremediación empleando estos hongos zygomycetos. Un punto importante era determinar la concentración inhibitoria de la germinación de las esporas por fenantreno. Para el hongo *Mucor* no hay un problema, pues germina en las diferentes concentraciones de fenantreno. Un avance sería observar qué sucede a un mayor tiempo de incubación para el hongo

Cunninghamella, pues se observa que es capaz de iniciar la síntesis de nuevo material celular en las diferentes concentraciones de fenantreno, pero fal-

ta determinar si es capaz de formar micelio y así demostrar un proceso de desintoxicación por biotransformación del fenantreno (Lisowska, 2005; Cutright, 1995).

Tabla 1. Microfotografías de *Mucor rouxii* (aumento 400X).

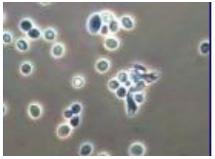
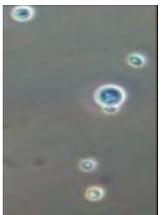
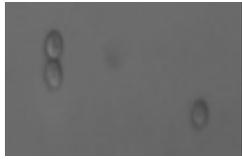
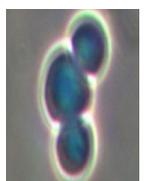
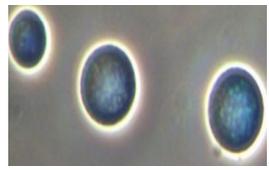
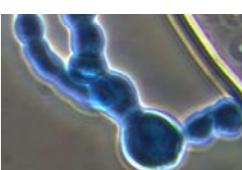
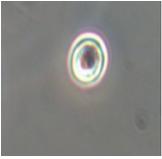
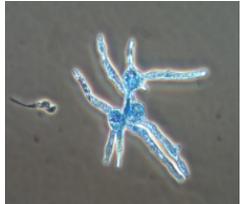
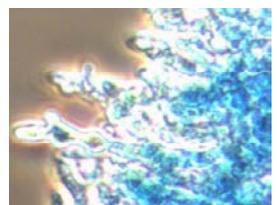
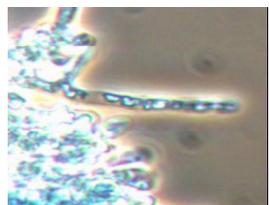
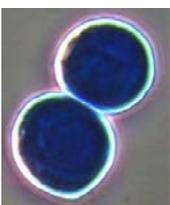
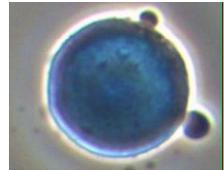
Tiempo de incubación (h)	0 mg/l de fenantreno	Etanol	100 mg/l de fenantreno	200 mg/l de fenantreno
0				
4				
8				
24	 (100 X)	 (100 X)		

Tabla 2. Microfotografías de *Cunninghamella echinulata* (aumento 400X).

Tiempo de incubación (h)	0 mg/l de fenantreno	Etanol	100 mg/l de fenantreno	200 mg/l de fenantreno
0				
4	 (100)	 (100)		
8				
24				

Las figuras 4 y 5 muestran el cromatofolio del análisis del extracto de una incubación líquida del hongo *Cunninghamella echinulata* frente al fenantreno a diferentes longitudes de onda (200 a 283 nm y 320 a 400 nm), con el fin de observar las diferentes bandas de fenantreno residual y los productos de biotransformación.

Los carriles de interés en este cromatofolio son: 1) Fenantreno testigo, 6) 100 mg/l de fenantreno y 7) 200 mg/l de fenantreno a 24 h de incubación. Los carriles del 2 al 5 son extractos de incubaciones líquidas de hongos del género *Cunninghamella* frente al fenantreno, pero para objetivos de este estudio no son requeridos. En la figura 4 se observan diferentes bandas en los carriles 6 y 7, las cuales se pueden atribuir a productos de biotransformación, ya que al ser el fenantreno un compuesto menos polar es desplazado a la parte superior del cromatofolio. Uno de los compuestos principales de la biotransformación del fenantreno es el 9-fenantrol, que es un compuesto más polar por el grupo inserción del oxígeno en el carbono 9 (Lisowska, 2005; Sánchez, 2011; Lisowska, 2004; Skoog, 2001). Esta característica le atribuye ser menos tóxico, pues su afinidad por los ácidos grasos es menor en comparación al fenantreno (Sánchez, 2011; New Jersey, 1999). Es posible que las diferentes bandas en el cromatofolio, se atribuyan a metabolitos del hongo durante la germinación de las esporas y el crecimiento micelial. Una propuesta para trabajos futuros es tener un testigo sin fenantreno con el cual descartar bandas por metabolitos del hongo para poder identificar los productos por biotransformación.

La figura 5 se observa a una longitud de onda menor con el propósito de apreciar el fenantreno residual que no es biotransformado y se desplaza a la parte superior de los carriles 6 y 7, al igual que la muestra del carril 1, que solo contiene fenantreno (Sánchez, 2011).

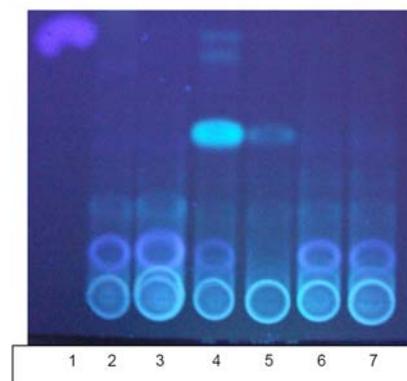


Figura 4. Cromatografía en capa delgada de gel de sílice fluorescente del extracto de una incubación líquida del hongo *Cunninghamella echinulata* frente al fenantreno visto a una longitud de onda de 320 a 400 nm.

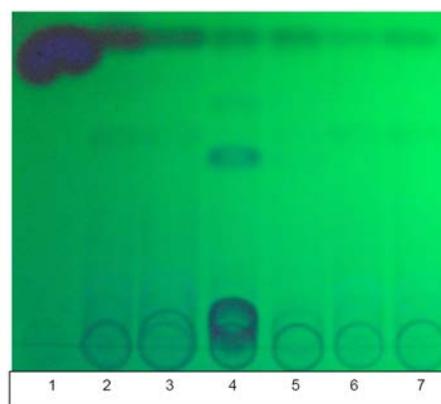


Figura 5. Cromatografía en capa delgada de gel de sílice fluorescente del extracto de una incubación líquida del hongo *Cunninghamella echinulata* frente al fenantreno visto a una longitud de onda de 200 a 283 nm.

En las figuras 6 y 7 se muestra el cromatofolio del hongo *Mucor rouxii* a diferentes longitudes de onda, con el propósito de observar las bandas de fenantreno residual y los productos de biotransformación.

Los carriles de interés de este cromatofolio son: 1) Fenantreno, 4) 100 mg/l de fenantreno y 5) 200 mg/l de fenantreno a 24 h de incubación. Los carriles restantes son hongos del género *Mucor*,

pero para fines de este estudio no son requeridos sus resultados.

En la figura 7, en los carriles 4 y 5 se observan diferentes bandas, al igual que *Cunninghamella*, donde es posible que algunas correspondan al 9-fenantrol (Sánchez, 2011) y a metabolitos del hongo. Es recomendable para trabajos posteriores tener un testigo sin fenantreno para descartar las bandas por metabolitos del hongo. **En la figura 8 se observan en la parte superior del cromatofolio las bandas de fenantreno residual que no fue biotransformado y la muestra de fenantreno en el carril 1.**

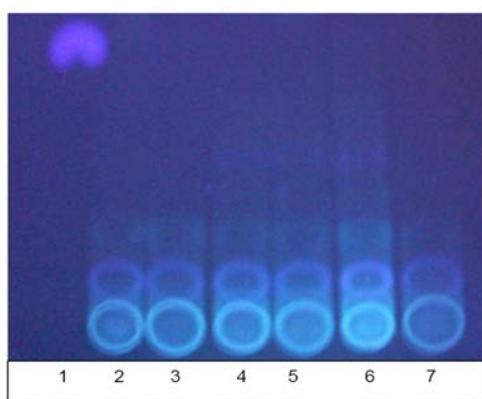


Figura 6. Cromatografía en capa delgada de gel de sílice fluorescente del extracto de una incubación líquida del hongo *Mucor rouxii* frente al fenantreno visto a una longitud de onda de 320 a 400 nm.

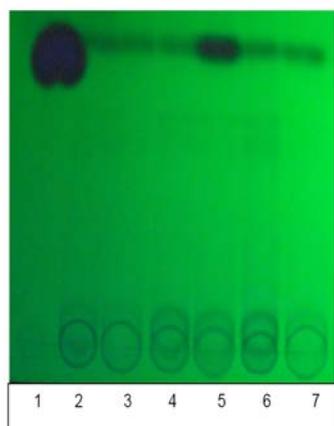


Figura 7. Cromatografía en capa delgada de gel de sílice fluorescente del extracto de una in-

culación líquida del hongo *Mucor rouxii* frente al fenantreno visto a una longitud de onda de 200 a 280 nm.

AGRADECIMIENTOS

Al I.Q.I. Gustavo Gerardo Medina Mendoza, por su apoyo técnico en la técnica de cromatografía.

CONCLUSIONES

Las esporangiosporas de *Mucor rouxii* CDBB-H-287 son capaces de germinar frente a las diferentes concentraciones de fenantreno, demostrando un proceso de desintoxicación al transformar el fenantreno en productos más polares. En cambio, *Cunninghamella echinulata* CDBB-H-260 es más susceptible al fenantreno y demuestra un proceso de detoxificación gradual.

Se demostró el efecto tóxico en la germinación de las esporangiosporas de los hongos del género *Mucor* y *Cunninghamella*.

BIBLIOGRAFÍA

Galván, F. (2009). *Diccionario ambiental y de asignaturas afines*. 1ª edición. México, 131.

García C., Vera (2004). *Introducción a la microbiología, UENED*. 2ª edición. Costa Rica, 55-57. Guión y coordinación: Secretaría de Salud Laboral y Medio Ambiente, MCA-UGT.

Federación de Industria (2010). *Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Acercamiento a su problemática como riesgo laboral*. España: Antonio Agudo.

Herrera, Teófilo (2004). *Reino de los hongos. Micología básica y aplicada*. 2ª edición. México: Fondo de Cultura Económica, 143-150. Disponible en: <http://toxamb.pharmacy.arizona.edu/c1-2-6.html>

Cutright, J. (1995). "Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Biodegradation and Kinetics using *Cunninghamella echinulata* var. *elegans*". *Elsevier*, 95, 397-408.

Lisowska, K. (2004). "Microcalorimetry as a Possible Tool for Phenantrene Toxicity Evaluation to Eukaryotic Cells". *Termochimica acta*, 411, 181-186.

----- (2005). "Detoxification of Phenantrene by *C. elegans* evaluated by Calorimetry". *Elsevier*, 430, 43-46.

New Jersey Department of Health Senior Services (1999, agosto). *Hoja informativa para sustancias peligrosas* [en línea]. Nueva Jersey.

Pernia, Beatriz (2012). "Biodiversidad y potencial hidrocarbonoclastico de hongos aislados de crudo y sus derivados: un metaanálisis". *Rev. Latinoam. Biotecnol. Amb. Algal.*, 3(1), 1-39.

Ramírez Gama, R. M. et al. (2000). *Manual de prácticas de microbiología general*. 1ª edición. México: Editora R. M. Ramírez Gama, 90-100.

Rodríguez Caballini, Evelyn (2002). *Bacteriología general. Principios y prácticas de laboratorio*. 1ª edición, 79-85.

Sánchez M., Rosalina (2011). "Análisis cromatográfico de la biotransformación del fenantreno por *Mucor rouxii* IM-80". Tesis. México: Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.

Skoog et al. (2001). *Principios de análisis instrumental*. 5ª edición. Madrid: McGraw-Hill, 734-750.

The University of Arizona, Center for Toxicology (2004). *Efecto tóxico* [en línea].

Ulloa, M. (1978). *Atlas de micología básica*. 1ª edición. México: Editorial Concepto, S.A., 45.



Ganancia de peso de corderos de pelo alimentados con una dieta integral de *saccharina* y un probiótico

K. Blardony-Ricardez,¹ R. González-Garduño,² J. A. Ramos-Juárez,¹ P. Díaz-Rivera,³ A. Elías-Iglesias⁴

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue conocer el efecto de un probiótico en el crecimiento de corderos de pelo alimentados con *saccharina*. La investigación se realizó en Salto de Agua, Chiapas, México. Se formaron dos grupos de seis hembras y dos de cinco machos. Todos ellos recibieron una dieta integral de caña fermentada (*saccharina*) enriquecida con 20% de sorgo y solo a dos grupos se les proporcionó el probiótico. El experimento duró 84 días. Cada quince días se registró el peso vivo (PV) y se calculó la ganancia diaria de peso (GDP); también se analizó el consumo diario. La GDP general fue 0.13 ± 0.05 kg. Los machos tuvieron mayor GDP (0.157 ± 0.007 kg) que las hembras (0.106 ± 0.006 kg). El consumo de alimento (y) aumentó diariamente de manera lineal en $y = 1.573 + 16 g^*$ (día), con un coeficiente de determinación de 0.8. Se concluye que la adición del probiótico no afectó la GDP de ovinos alimentados con *saccharina*.

Palabras clave: *Lactobacillus*, alimentación de ovinos, caña de azúcar fermentada.

1 Campus Cárdenas, Colegio de Posgraduados, Cárdenas, Tab., México.

2 Unidad Regional Universitaria Sursureste. Universidad Autónoma Chapingo (UACH), km 7 carretera Teapa-R. Vicente Guerrero. Teapa, 86800, Tab., México; e-mail: robgardu@hotmail.com

3 Campus Veracruz, Colegio de Posgraduados, Veracruz, Ver., México.

4 Instituto de Ciencia Animal (ICA), La Habana, Cuba.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción ovina, la alimentación es uno de los elementos que determinan la rentabilidad de las empresas (Góngora *et al.*, 2010), especialmente cuando se realiza engorda en estabulación (Macedo y Castellanos, 2004). En este tipo de sistemas, el uso de dietas integrales es una opción que ha permitido aprovechar el potencial de crecimiento de los corderos Pelibuey en sus diferentes etapas (predestete y posdestete). De esta manera, se reducen los días al mercado (Macedo y Arredondo, 2008), ya que las ganancias de peso pueden alcanzar de los 180 a 250 g cordero⁻¹ en sistemas intensivos (Macías-Cruz *et al.*, 2010) en comparación con sistemas de producción en pastoreo y complementación alimenticia, en los cuales las ganancias de peso oscilan entre 120 y 147 g cordero⁻¹ por día (Burke y Apple, 2007).

Uno de estos alimentos completos fue desarrollado por Elías *et al.* (1990), quienes utilizaron la caña de azúcar, limpia y molida (98%, sin hojas, sin pajas y sin cogollo), y mediante fermentación en estado sólido (FES) obtuvieron un producto denominado “saccharina”, la cual integró en su composición 1.5% de urea y 0.5% de minerales, para obtener síntesis de proteína microbiana, con lo que se alcanza un producto con 8.9 a 13.8% de proteína verdadera. Debido a su alto contenido de polisacáridos estructurales, se le han incluido otros ingredientes como agentes diluyentes de la fibra o mejoradores de la eficiencia fermentativa (Elías, Lezcano y Herrera, 2001), tal es el caso de granos de cereales, o bien, el pulido de arroz (Ruiz, Ruiz y Torres, 2005).

Algunos mejoradores de la fermentación estudiados han sido los probióticos, los cuales son microorganismos benéficos que mejoran la digestibilidad de los alimentos, colonizan el tracto gastrointestinal y permiten mayor disponibilidad de nutrientes para el animal (García-Curbelo *et al.*, 2005). Por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron determinar la ganancia de peso de ovinos alimentados con una dieta integral de *sac-*

charina y sorgo, adicionada con un probiótico y evaluar el volumen celular aglomerado como un indicador de salud.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se realizó en Pueblo Nuevo, municipio de Salto de Agua, Chiapas, México, el cual se encuentra a una altitud de 85 msnm, con coordenadas 17°34' latitud norte y 92°20' longitud oeste. El clima de la región es Af (m) w'(i')g, es decir, cálido húmedo con lluvias todo el año. La temperatura promedio anual es de 26.6 °C y la precipitación, de 3289.1 mm (Conagua, 2012).

Manejo de los animales

El experimento se desarrolló de mayo a agosto de 2009 durante un periodo de 84 días. Se utilizaron 22 corderos de pelo recién destetados con un promedio de 100 días de edad, con los cuales se formaron cuatro grupos: dos grupos con seis corderos hembras con un peso promedio de 11.8 ± 2.10 kg y dos grupos con cinco machos con un peso promedio de 13.5 ± 3.00 kg. Un grupo de corderos machos y un grupo de corderos hembras recibieron la dieta integral y 5 ml kg⁻¹ de un probiótico derivado de fermentación con *Lactobacillus*, mientras que a los grupos restantes se les proporcionó solamente la dieta integral: *saccharina* elaborada en la misma unidad de producción.

Al inicio del experimento, los animales se pesaron y se desparasitaron con nitroxinil a una dosis de 11.3 mg kg⁻¹ pv.

Todos los corderos tuvieron un periodo de adaptación de ocho días, en el cual se les ofreció el alimento de manera gradual de acuerdo a su pv. Se empezó con 0.5 kg de alimento hasta llegar a 2.5 kg de alimento por animal por día, lo cual representó cerca del 20% del pv del animal en base húmeda. Desde el periodo de adaptación a los grupos correspondientes, se les proporcionó diariamente el probiótico, que se mezcló con la dieta integral

y se ofreció en la mañana y por la tarde, mientras que a los grupos que no recibieron probiótico solo se les proporcionó el alimento. Se registró el peso del alimento ofrecido y rechazado por grupo, con lo cual se estimó el consumo diario del grupo e individual.

Los animales se pesaron cada quince días para determinar el cambio y las GDP. Adicionalmente, se extrajo sangre para conocer el volumen celular aglomerado (VCA) mediante la técnica de microhematocrito (Benjamín, 1991).

Preparación de la dieta integral y el probiótico

La dieta integral (*saccharina* enriquecida) estuvo compuesta por 74% de caña, pasta de soya, 4%; sorgo, 20%; urea, 1%; sulfato de magnesio, 0.5%; y minerales, 0.5%. El proceso de elaboración de este alimento consistió en cortar la caña un día antes de su utilización; posteriormente se molió en una picadora de forrajes de 12 HP. Después de la molienda se revolviaron todos los ingredientes, se extendió sobre una superficie plana y se dejó fermentar por 24 horas; al término de este proceso, se embolsó para su conservación durante un periodo de 8 a 12 días. A la dieta integral se le realizaron los análisis bromatológicos (AOAC, 2005; Van Soest, Robertson y Lewis, 1991), cuya composición se describe en el cuadro 1.

Cuadro 1. Composición bromatológica de la *saccharina*.

	Promedio	Desviación estándar
Materia seca %	43.1	3.16
Proteína cruda %	20.0	1.54
Nitrógeno no proteico %	6.92	0.98
Proteína verdadera %	13.1	1.51
Cenizas %	4.51	0.87
Materia orgánica %	95.5	0.88
Celulosa %	62.9	2.52
Fibra detergente neutra %	37.1	2.52
Fibra detergente ácida %	19.0	2.76
Hemicelulosa %	18.1	2.15

Por su parte, el probiótico se preparó mediante la obtención de un inóculo de yogur comercial (10%), que se agregó a una mezcla de ingredientes (agua, 70.8%; melaza, 10%; urea, 0.4%; minerales, 0.5%; sulfato de magnesio, 0.3%; pulido de arroz, 4%; y pasta de soya, 4%), y se dejó fermentar durante 72 horas en anaerobiosis.

Análisis estadístico

El PV, GDP y VCA se analizaron utilizando el procedimiento MIXED del SAS Institute, Inc. (SAS, 1999) con un diseño de bloques al azar (sexo) y ajustando por la covariable edad.

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_{(i)} + T_j + S_k + E_l + \epsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = Volumen celular aglomerado, ganancia diaria de peso, peso vivo; μ = Media general; β_i = Efecto de la i -ésima covariable (edad); T_j = Efecto del j -ésimo tratamiento (j = con probiótico y sin probiótico); S_k = Efecto del k -ésimo sexo del animal (k = hembras y machos); E_l = Efecto del l -ésimo muestreo (tiempo); ϵ_{ijk} = Error aleatorio (individuo) NID ($0, \sigma^2$).

Debido a la carencia de repeticiones, el análisis de consumo en el tiempo se realizó mediante una regresión entre los días y el consumo diario del conjunto de animales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso vivo (PV) y ganancia diaria de peso (GDP)

El promedio general de la GDP obtenida en ovinos alimentados con una dieta integral de *saccharina* fue de 0.129 ± 0.05 kg. De las variables analizadas solamente se observaron diferencias entre las fechas de muestreo (tiempo) y entre el sexo de los corderos ($P < 0.05$), tanto en la GDP como en el PV de los animales (cuadro 2).

Cuadro 2. Resumen de las variables productivas de ovinos de pelo alimentados con saccharina, suplementados con y sin probiótico

Variables	Con probiótico				Sin probiótico			
	Hembras		Machos		Hembras		Machos	
Número de corderos	6		5		6		5	
Peso inicial	11.8		13.4		11.8		13.6	
Peso final	20.7		27.4		20.8		26.2	
Cambio de peso	9.00		14.0		9.0		12.6	
Días transcurridos	84		84		84		84	
Consumo individual (kg)	1.95	±0.29	2.53	±0.53	1.82	±0.29	2.25	±0.46
Consumo de materia seca (kg d ⁻¹)	0.78	±0.12	1.01	±0.21	0.73	±0.12	0.90	±0.19
GDP (g)	107 ^a	±86	167 ^b	±93	107 ^a	±86	150 ^b	±94
Conversión alimenticia (ms alimento/ kg ganancia)	7.3		6.1		6.8		6.0	

a, b = literales diferentes, presentan diferencia significativa ($p < 0.05$).

A pesar de las diferencias numéricas observadas en la GDP a favor de los corderos machos que recibieron la dieta integral más el probiótico (167 g), no resultaron significativas respecto a las obtenidas en los animales alimentados sin él (150 g). De manera similar a este estudio, Haryanto (2000) no encontró diferencias en la GDP de ovinos estabulados, suplementados con probiótico, aunque las ganancias indicadas en ese estudio (89 a 94 g d⁻¹) fueron inferiores a las obtenidas con la *saccharina* integral. Sin embargo, en ovinos de pelo se ha demostrado un efecto benéfico en la GDP cuando se incluyen levaduras en dietas para obtener un moderado y rápido potencial de crecimiento, por efecto de un incremento en el consumo de alimento (Macedo *et al.*, 2009).

Posiblemente el hecho de que no se encontraran diferencias significativas entre los grupos con probiótico y sin el mismo, fue debido a que la *saccharina* es un producto con un alto nivel de fibra

(FDN = 37%) y, además, también es un producto derivado de la fermentación láctica (Monroy *et al.*, 2006), lo cual no permitió expresar el efecto del probiótico, ya que, como se ha indicado en otros estudios, los resultados de los probióticos han sido variables y se han obtenido respuestas benéficas cuando las dietas incluyen altos niveles de carbohidratos solubles (Macedo *et al.*, 2009).

Tanto en el PV como en la GDP, se observaron diferencias entre machos y hembras (cuadro 3, $P \leq 0.01$). La mayor ganancia de peso en machos ha sido ampliamente estudiada e indicada en algunos otros trabajos (González, Torres y Castillo, 2002; Macedo y Arredondo, 2008), lo cual también fue corroborado en la presente investigación. Como era de esperarse, la ganancia de peso repercutió en el PV de los animales y por lo tanto, los machos tuvieron mayor peso que las hembras al finalizar el estudio.

Cuadro 3. Promedio y desviación estándar del peso vivo (PV) y la ganancia de peso en hembras y machos alimentados con saccharina enriquecida.

Sexo	Peso vivo (PV)		Ganancia diaria de peso (GDP)	
	Promedio (kg)	Desviación estándar	Promedio (kg)	Desviación estándar
Hembras	15.9 ^b	± 0.3	0.106	± 0.06
Machos	19.5 ^a	± 0.4	0.157	± 0.07

a, b = literales diferentes, presentan diferencia significativa ($p < 0.05$).

Las ganancias de peso, tanto de hembras como de machos, fueron inferiores a las indicadas por Macedo y Arredondo (2008) en ovinos Pelibuey pre y posdestete, estabulados en un sistema de alimentación intensiva, el cual permite que los corderos expresen todo su potencial de crecimiento, reduciendo el número de días para alcanzar un PV superior a los 20 kg. Pero cuando los corderos se encuentran en pastoreo y se suplementan con *saccharina* (Frías *et al.*, 2011), las ganancias indicadas han sido menores (85 a 109 g d⁻¹) que cuando se proporcionan dietas integrales, como fue el caso del presente estudio en el que las ganancias de peso fueron intermedias entre los dos sistemas antes indicados (167 g d⁻¹).

A partir de los treinta días de iniciado el experimento, los corderos tuvieron un incremento en la GDP, pero posteriormente se mantuvo entre 60 a 100 g, y durante el sexto muestreo se observó nuevamente un aumento en la GDP (cuadro 4).

Los cambios en la ganancia de peso en el tiempo correspondieron a la reducción en el consumo de alimento de manera cíclica y se atribuyen a las características del alimento, ya que la preparación del mismo era cada 15 días aproximadamente, lo que repercutió en la ganancia de peso, ya que cuando el alimento estaba recién preparado, el consumo y las ganancias se incrementaron. La dependencia de la ganancia de peso respecto al consumo también se ha indicado por Álvarez, Malgarejo y Castañeda (2003).

Cuadro 4. Peso vivo (PV) (kg) y ganancia de peso promedio (kg animal⁻¹ por día) en corderos de pelo estabulados, alimentados con saccharina enriquecida.

Días transcurridos	Peso vivo (PV)		Ganancia diaria de peso (GDP)	
	Promedio ± Desviación estándar		Promedio ± Desviación estándar	
1	12.9 ^a	± 0.7		
15	13.6 ^a	± 0.6	0.05 ^a	± 0.037
30	16.2 ^b	± 0.6	0.19 ^b	± 0.036
45	17.7 ^b	± 0.6	0.11 ^c	± 0.035
60	18.4 ^c	± 0.6	0.06 ^a	± 0.036
75	21.7 ^c	± 0.6	0.24 ^d	± 0.036
84	23.5 ^d	± 0.7	0.14 ^c	± 0.037

a, b, c, d = literales diferentes en cada columna presentan diferencia significativa ($p < 0.05$).

Volumen celular aglomerado (VCA)

El VCA como un indicador de salud de los animales mostró mejoría en el transcurso del experimento. Al inicio del mismo, el VCA fue de 28% y se mantuvo constante, elevándose gradualmente hasta 30.9 ± 3.10% al final del experimento. Este factor no fue significativo para ninguna de las variables (tratamiento y sexo de los animales; $p > 0.05$; cuadro 5).

Cuadro 5. Promedio y desviación estándar del volumen celular aglomerado (VCA) de los corderos estabulados (inicial, final y cambio).

Sexo del cordero	VCA inicial	VCA final	Cambio de VCA (%)
Hembras	27.6 ± 4.5	31.3 ± 3.1	3.2 ± 3.5
Machos	28.2 ± 4.3	30.3 ± 3.2	2.7 ± 4.4

Consumo de alimento

De acuerdo con la regresión realizada para estimar el consumo respecto al tiempo, se obtuvo un incremento de 16 g por cada día transcurrido durante el experimento, con un coeficiente de determinación de 0.8. De la misma forma, el consumo de materia seca (CMS) se incrementó conforme transcurrió el experimento en 6 g de MS por día de edad de los animales (figura 1).

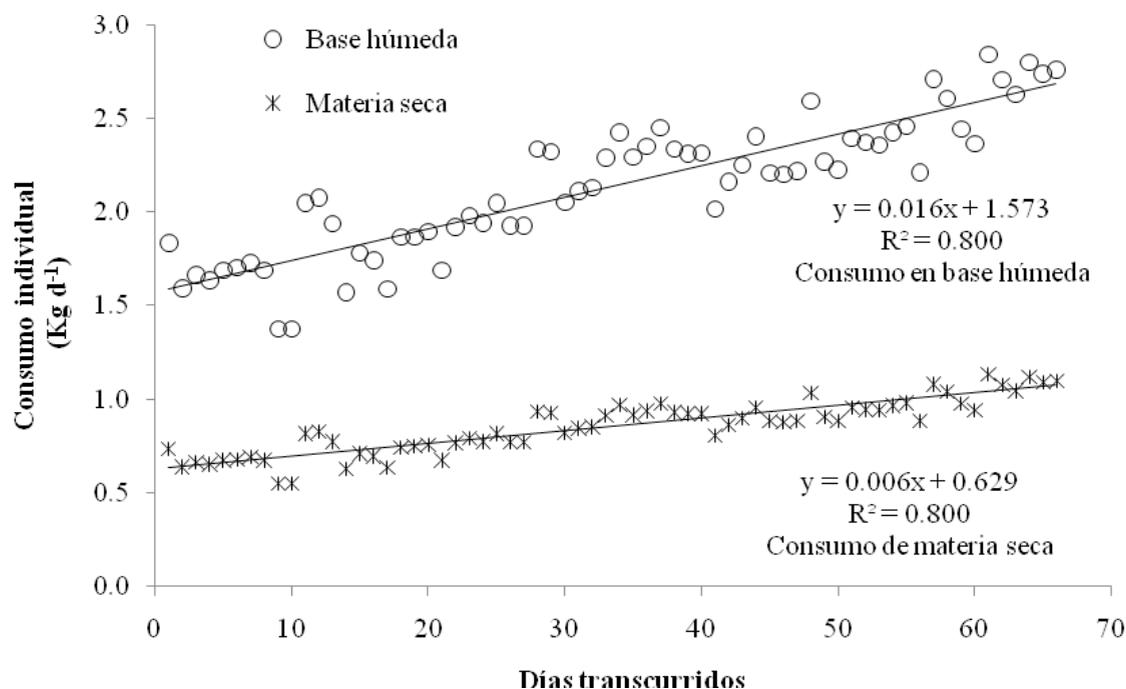


Figura 1. Consumo en base húmeda y materia seca de saccharina enriquecida, en corderos de pelo estabulados, de acuerdo a los días transcurridos.

El coeficiente de variación en el consumo fue de 10% y los cambios ocurridos, se explicaron debido a que, a medida que el alimento tenía mayores días de fermentación, el consumo se reducía en comparación a cuando el alimento estaba recién preparado.

El consumo individual estimado de las hembras fue de 1.88 ± 0.02 kg de MS y en machos de 2.39 ± 0.02 kg de MS. El mayor consumo de los machos seguramente fue debido a la mayor velocidad de su crecimiento respecto a las hembras (González, Torres y Castillo, 2002). Este fenómeno ya ha sido indicado en ovinos, en los cuales el macho tiene mayor consumo de alimento, originado por las diferencias sexuales secundarias (González-Garduño, Torres-Hernández y Arece-García, 2011).

Se concluye que la adición del probiótico en un alimento fermentado como la *saccharina*, no afectó la ganancia de peso. Sin embargo, se recomienda ampliar el periodo de estudio para comprobar el efecto y medir el consumo individual de alimento para corroborar el efecto del probiótico en esta variable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, M. G., V. L. Malgarejo, N. Y. Castañeda (2003). "Ganancia de peso, conversión y eficiencia alimenticia en ovinos alimentados con fruto (semilla con vaina) de parota (*Enterolobium cyclocarpum*) y pollinaza". *Vet. Méx.*, 34(1), 39-46.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (2005). "Official Methods of Analysis". 18th ed. Washington, D.C.

Benjamín, M. M. (1991). *Manual de patología clínica en veterinaria*. 1^a edición. México: Editorial Limusa, 7-95.

Burke, J. M., J. K. Apple (2007). "Growth Performance and Carcass Traits of Forage-fed Hair Sheep Wethers". *Small Rum. Res.*, 67, 264-270.

Comisión Nacional del Agua (Conagua) (2012). *Servicio Meteorológico Nacional. Normales climatológicas*. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/chis/NORMAL07141.TXT>. (Consulta: 10 de enero de 2012).

- Elías, A., O. Lezcano, F. R. Herrera (2001). “Algunos indicadores bromatológicos y productos finales de la fermentación para la obtención de cuatro tipos de *saccharinas* inoculadas con Vitafert”. *Rev. Cubana de Ciencia Agríc.*, 35, 153.
- Elías, A., O. Lezcano, P. Lezcano, J. Cordero, L. Quintana (1990). “Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico de la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (*saccharina*)”. *Rev. Cubana de Ciencia Agríc.*, 24, 1-11.
- Frías, J., E. Aranda, J. Ramos, C. Vázquez, P. Díaz (2011). “Calidad y rendimiento en canal de corderos en pastoreo suplementados con caña de azúcar fermentada”. *Avances en Inv. Agrop.*, 15, 33-44.
- García-Curbelo, Y., Y. García, A. López, R. Boucourt (2005). “Probióticos: una alternativa para mejorar el comportamiento animal”. *Rev. Cubana de Ciencia Agríc.*, 39(2), 129-140.
- Góngora, R. D., S. F. Góngora, M. A. Magaña, P. E. Lara (2010). “Caracterización técnica y socioeconómica de la producción ovina en el estado de Yucatán, México”. *Agron. Mesoamericana*, 21(1), 131-144.
- González, R., G. Torres, A. M. Castillo (2002). “Crecimiento de corderos Blackbelly entre el nacimiento y el peso final en el trópico húmedo de México”. *Vet. Méx.*, 33(4), 443-453.
- González-Garduño, R., G. Torres-Hernández, J. Arece-García (2011). “Ganancia de peso de ovinos alimentados con pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*) suplementados con diversas fuentes de proteína”. *Avances en Inv. Agrop.*, 15(3), 3-20.
- Haryanto, B. (2000). “The Use of Probiotic in the Diet to Improve Carcass Characteristics and Meat Quality of Sheep”. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 5(4), 224-228.
- Macedo, R., V. Arredondo (2008). “Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos Pelibuey en manejo intensivo”. *Arch. Zoot.*, 57(218), 219-228.
- Macedo, B. R., R.V. Arredondo, R. R. Rodríguez, S. J. Rosales, G. A. Larios, G. A. Larios (2009). “Efecto de la adición de un cultivo de levaduras y de la ración sobre la degradación *in vitro* y productividad de corderos Pelibuey”. *Téc. Pec. Méx.*, 47, 41-53.
- Macedo, R., Y. Castellanos (2004). “Rentabilidad de un sistema intensivo de producción ovino en el trópico”. *Avances en Inv. Agrop.*, 8(3), 1-9.
- Macías-Cruz, U., F. D. Álvarez-Valenzuela, J. Rodríguez-García, A. Correa-Calderón, N. G. Torrentera-Olivera, L. Molina-Ramírez, L. Avenaño-Reyes (2010). “Crecimiento y características de canal en corderos Pelibuey puros y cruzados F1 con razas Dorper y Katahdin en confinamiento”. *Arch. Med. Vet.*, 42, 147-154.
- Monroy, J., E. Aranda, G. Mendoza, J. Ramos, J. Herrera, M. Cobos (2006). “Elaboración y conservación de *saccharina* a partir de caña de azúcar integral, con la adición de melaza y pulidura de arroz”. *Rev. Cubana de Ciencia Agríc.*, 40, 167-172.
- Ruiz, M. de los A., J. Ruiz, V. Torres (2005). “Efecto del polvo de arroz en el consumo y la digestibilidad de raciones integrales basadas en *saccharina* rústica para ovinos”. *Rev. Cubana de Ciencia Agríc.*, 39(4), 575-579.
- SAS Institute, Inc. (1999). *SAS/STAT User's Guide, Version 8.0*. 4th edition. Cary NC.
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, B. A. Lewis (1991). “Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber and Non-starch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition”. *J. Dairy Sci.*, 74(10), 3583-3597.



Distribución espacial de contaminantes atmosféricos en zona marino-costera occidental de Cuba

M. A. Díaz¹ y L. Rivas²

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la calidad del aire para las líneas bases ambientales de pozos exploratorios costa afuera, se determinó la distribución espacial de contaminantes en la zona noroccidental de Cuba. Se seleccionaron 30 estaciones de muestreo desde Cabo San Antonio hasta Cabañas, donde se tomaron muestras integradas (promedio de 600 determinaciones en 10 minutos) de contaminantes desde la proa de un barco y en la franja costera. La concentración promedio de H₂S en la zona resultó elevada (0.27-0.50 mg/m³) con relación al valor máximo establecido para la calidad de aire en puntos habitados (0.008 mg/m³) y está asociada con emisiones naturales de compuestos azufrados producto de la descomposición natural de la vegetación marina. Los valores de concentración de SO₂ y NO_x cumplen con la norma referida (0.5 y 0.085 mg/m³, respectivamente) y presentan distribución similar entre las estaciones (0.01-0.09 mg/m³) en correspondencia con la distancia a las fuentes emisoras.

Palabras clave: distribución, contaminantes, costera.

INTRODUCCIÓN

Los impactos en la calidad del aire se deben estimar mediante evaluaciones de línea base y modelos de dispersión atmosférica para establecer las concentraciones potenciales a nivel de suelo durante el diseño y operación de facilidades productivas (IFC-World Bank, 2007), asegurando que no haya como

resultado impactos adversos a la salud humana y al medio ambiente. Si la evaluación de la calidad del aire describe bien las variaciones espaciales y temporales en la concentración, los resultados del monitoreo darán la verdadera exposición de la población (Žujić *et al.*, 2009). La correcta evaluación del medio ambiente atmosférico para conocer los

1 Doctor en Ciencias Químicas.

2 Licenciado Químico.

Laboratorio de Química Ambiental, Centro de Investigación del Petróleo,
calle Churruca núm. 481, e/Washington y Vía Blanca, Cerro, La Habana, Cuba.
Tel. (537) 649 41 01, fax (537) 642 60 21; e-mail: michael@ceinpet.cupet.cu

los océanos la constituye la descomposición de la vegetación marina. En los océanos, los sistemas biológicos están añadiendo y removiendo continuamente sustancias oxidantes y reductoras hacia y desde el agua (Holmes-Farley, 2008), incluyendo compuestos azufrados.

En el Área II se observó la presencia de especies tales como la *Thalassia*, cuya descomposición origina fuertes emisiones de H₂S. Los valores máximos se obtuvieron con viento de componente norte en el Área I, sur-suroeste en el Área II y este en el

Área III. Los valores puntuales de cada estación y promedios de concentración de SO₂ y NO_x de las Áreas I, II y III cumplen con la norma (0.5 y 0.085 mg/m³, respectivamente) de calidad de aire referida. Los HC no se detectaron (nsd) en 8 de las estaciones monitoreadas y en 15 del resto resultaron valores aceptables (53-531 ppm), tomando como referencia lo regulado en la NC 872:2011 para aire de la zona de trabajo (600 ppm), dado que la NC 39:1999 no regula estos contaminantes.

Tabla I. Concentraciones de contaminantes en las áreas monitoreadas.

ÁREA	Estación	HC (ppmCH ₄)	BTX (ppm C ₆ H ₆)	H ₂ S (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)
I	30	nsd	nsd	0.423	0.004	0.010
	17	nsd	nsd	0.556	0.003	0.017
	37	nsd	nsd	0.127	0.029	0.009
	21	nsd	nsd	0.506	nsd	0.006
	11	69	nsd	0.173	0.015	0.021
	7	231	nsd	0.378	nsd	0.016
	2	102	nsd	0.023	0.009	0.016
	3	259	nsd	0.106	0.029	0.011
	4	201	nsd	0.345	nsd	0.002
	12	425	nsd	0.195	0.001	0.002
	13	399	nsd	0.160	0.005	0.011
	X MEDIA	153 ± 7.7	nsd	0.27 ± 0.03	0.01 ± 0.001	0.01 ± 0.001
II	19	nsd	217	0.889	0.096	0.003
	21	165	42	1.310	0.003	0.017
	10	nsd	10	0.110	0.019	0.006
	6	87	41	0.315	0.002	0.006
	5	nsd	nsd	0.164	0.004	0.011
	1	nsd	41	0.160	0.001	0.001
	X MEDIA	42 ± 2.1	58 ± 5.5	0.49 ± 0.05	0.02 ± 0.002	0.01 ± 0.001
II tierra	A	1677	119	0.284	nsd	0.118
	B	1113	213	0.882	nsd	0.009
	C	140	117	0.324	nsd	0.101
	X MEDIA	977 ± 49	150 ± 14	0.50 ± 0.05	nsd	0.08 ± 0.008
III	22	53	74	nsd	0.043	0.006
	13	81	446	0.362	0.155	0.014
	10	159	436	0.438	0.040	0.002
	23	815	416	0.400	0.137	0.004
	5	1056	522	0.411	0.017	0.009
	6*	768	358	0.183	0.300	nsd
	6	233	347	0.516	0.116	0.023
	14	436	355	0.298	0.012	0.001
	17	531	160	0.031	0.055	nsd
	18	639	407	0.454	0.006	0.003
	X MEDIA	477 ± 24	352 ± 33	0.31 ± 0.03	0.09 ± 0.01	0.01 ± 0.001

(a) Concentración instantánea (20 min) de contaminantes del aire para zonas habitables (NC 39:1999).

(b) nsd – no se detecta.

Los BTX (gases y vapores inflamables) no se detectaron en los 11 puntos monitoreados en el Área I y resultaron valores aceptables (10-522 ppm) en las otras estaciones, tomando en cuenta lo anterior (1785 ppm).

Durante el periodo de muestreo, la distribución de frecuencias de ocurrencia del rumbo de viento fue: 64% norte con rapidez promedio de 4.3 m/s y un 36% noreste con rapidez promedio de 3.5 m/s en el Área I; 67% suroeste con rapidez de 2.3 m/s y un 33% sur-suroeste con rapidez de 1.3 m/s en el Área II; y 60% del primer cuadrante (norte al este) con rapidez de 4.3 m/s y un 30% del segundo cuadrante (este al sur) con rapidez de 5.2 m/s en el Área III. No ocurrieron precipitaciones.

Tabla II. Puntos de monitoreo adicionales en el Área III.

Estaciones	Punto	HC	BTX	H ₂ S	SO ₂	NO _x
Cayo L	1 ^a	94	436	0.091	0.007	0.157
	28 ^a	521	119	nsd	0.039	0.035
	3 ^b	616	nsd	0.045	0.039	0.035
Cayo J	1 ^a	nsd	473	0.220	0.001	nsd
	2 ^a	nsd	253	0.128	0.048	0.061
	3 ^a	406	171	0.190	0.029	0.021
	25 ^c	196	nsd	0.310	0.009	0.028
	5 ^b	630	123	0.181	0.230	0.005
Cayo I	1 ^a	73	160	0.412	0.124	nsd
	26 ^a	725	38	nsd	nsd	0.006
	3 ^b	504	438	0.059	0.241	0.028
	4 ^c	226	61	0.015	0.542	0.020
Cayo P	29 ^a	381	81	0.338	0.005	0.049
	2 ^c	342	nsd	nsd	0.003	0.039
Cayo A	27 ^a	370	nsd	0.576	0.001	0.025
	2 ^c	nsd	nsd	0.081	0.098	0.001

^a En tierra

^b Intermedio entre el barco y el cayó

^c En el barco fondeado

Las concentraciones de H₂S en todas las estaciones A, B y C en la zona costera del Área II (desde tierra) resultan superiores (0.28-0.88 mg/m³) a la norma establecida para aire de zona habitable (0.008 mg/m³) y están asociadas con emisiones naturales de compuestos azufrados. Se puede apreciar que los valores de todos los contaminantes

(excepto hidrocarburos y SO₂) en B y la estación 19 resultaron similares, lo que indica cierta relación en su distribución en el área (mar y tierra), dada la ubicación de ambas. El SO₂ no se detectó en los puntos costeros. Los NO_x no cumplen con la norma referida en A y C. Los valores de BTX resultaron aceptables. Los HC se consideran elevados en A y B y están asociados a emisiones vehiculares. Durante el muestreo, el viento se mantuvo en dirección este-noreste con rapidez promedio de 2.8 m/s. No ocurrieron precipitaciones.

Con vistas a descartar la posible influencia de las emisiones del barco sobre los niveles de contaminantes en las estaciones de monitoreo, se realizaron mediciones adicionales en zonas del cayorío norte de la región de estudio, en las cuales se monitoreó en tierra a una distancia intermedia entre el barco y el cayó, y en el barco fondeado. Como se aprecia en la tabla II, los valores de concentración de H₂S en todas las estaciones en tierra del Área III (excepto en el punto 28 del Cayo L y en el punto 26 del Cayo I, en la zona de playa de ambos, que no se detectó) resultan superiores (0.09-0.58 mg/m³) a la norma establecida (0.008 mg/m³), asociados también con emisiones naturales de compuestos azufrados.

La concentración de H₂S en todos los puntos intermedios entre el barco y los cayos, y en el barco fondeado frente a los cayos (excepto frente al Cayo P, que no se detectó) resulta superior a la norma. Las concentraciones de SO₂ y NO_x en los puntos en tierra (excepto en el punto 1 del Cayo L), en los puntos intermedios y en el barco fondeado frente a los cayos (excepto frente al Cayo I) cumplen con la norma referida (0.5 y 0.085 mg/m³, respectivamente). Los HC en las estaciones en tierra resultaron valores aceptables, tomando como referencia lo regulado en la norma para el aire de la zona de trabajo (600 ppm). Los BTX resultaron aceptables en todos los puntos, tomando en cuenta lo anterior (1785 ppm). Durante el periodo de muestreo en zonas del cayorío norte, la distribución de frecuencias de ocurrencia del rumbo de viento fue de 62% del

oeste al norte con rapidez de 3.4 m/s y un 25% del primer cuadrante (norte al este) con rapidez de 3.2 m/s. No ocurrieron precipitaciones durante el monitoreo.

Para las estaciones del Área III, el análisis de varianza de dos factores con varias muestras (todos los contaminantes determinados por estación) por grupo (tabla III) indica que no hay diferencias significativas ($F_{exp} < F_{0.95}$) entre las estaciones de monitoreo (incluyendo las mediciones en tierra de los cayos) ni en las interacciones estaciones-contaminantes, dado que las fuentes de origen son comunes a todas las estaciones del área, y sí existen diferencias significativas entre todos los contaminantes.

Se obtuvieron coeficientes de correlación significativos para el H₂S con los BTX entre las estaciones monitoreadas desde el barco (0.84), así como entre los puntos monitoreados en tierra en los cayos (0.85); sin embargo, no se obtuvo una correlación significativa entre ambos grupos de estaciones (oceánicas y en tierra) para estos contaminantes.

Tabla IV. Distribución de contaminantes en la zona de estudio.

MAR	H ₂ S	SO ₂	NO _x	HC	BTX
ÁREA I	0.27	0.01	0.01	153	nsd
ÁREA II	0.33	0.02	0.01	42	58
ÁREA III	0.31	0.06	0.01	477	352
X MEDIA	0.30	0.03	0.01	224	137
TIERRA	H ₂ S	SO ₂	NO _x	HC	BTX
Cayo L	0.05	0.03	0.08	410	185
Cayo J	0.21	0.06	0.02	246	204
Cayo I	0.12	0.23	0.01	382	174
Cayo P	0.17	< 0.01	0.04	361	41
Cayo A	0.33	0.05	0.01	185	nsd
Los Arroyos	0.28	nsd	0.12	1677	119
Playa M	0.32	nsd	0.10	140	117
X MEDIA	0.21	0.05	0.06	486	120

Como se aprecia en la tabla IV, los valores promedio de H₂S en las tres áreas monitoreadas en el

Tabla III. Análisis de varianza.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F	
Estaciones	73373.756	2	36686.878	2.00660928	3.12390745	nds
Contaminantes	2642933.25	5	528586.65	28.911342	2.34182753	ds
Interacción	171958.37	10	17195.837	0.94053591	1.9649419	nds
Dentro del grupo	1316377.45	72	18283.02			
Total	4204642.83	89				

mar son comparables (0.2-0.3 mg/m³) a los obtenidos en tres de las estaciones costeras evaluadas (cayos J, P y A) y a los encontrados en otras zonas costeras de la región (Los Arroyos y Playa M). Con relación al SO₂, en las áreas oceánicas se aprecian valores similares (0.01-0.06 mg/m³) a los que aparecen en las estaciones en tierra (excepto Cayo I, que resultó muy superior). Para los valores promedio de NO_x, solo en dos estaciones costeras (cayos I y A) son comparables (0.01 mg/m³) con los encontrados en las áreas marinas, dado que en las estaciones que presentan mayores niveles están asociados fundamentalmente a las emisiones vehiculares. Con relación a las concentraciones promedio de HC y BTX, se observó una diferencia significativa entre las áreas I, II y III, así como entre éstas y las estaciones costeras.

El análisis estadístico multivariado empleando el método de unión simple por las distancias euclidianas no estandarizadas da como resultado para las estaciones de las áreas I, II y III, las relaciones de interés del SO₂ con los NO_x, y de ambos con el SH₂, dadas las distancias de unión encontradas en el programa de amalgamación.

Tabla v. Schedule de amalgamación. Distancias euclídeanas unión simple.

	Obj. No. - 1	Obj. No. - 2	Obj. No. - 3	Obj. No. - 4	Obj. No. - 5	Obj. No. - 6
0.4050682	SO ₂	NO _x				
2.228844	H ₂ S	SO ₂	NO _x			
63.55006	H ₂ S	SO ₂	NO _x	RAPIDEZ		
1232.996	BTX	H ₂ S	SO ₂	NO _x	RAPIDEZ	
1399.974	CH ₄	BTX	H ₂ S	SO ₂	NO _x	RAPIDEZ

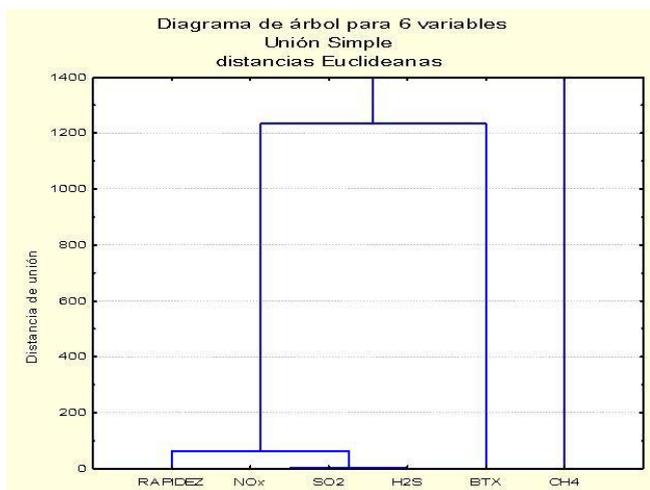


Figura 2. Análisis cluster de las tres áreas.

El análisis *cluster* para las estaciones dentro de cada área muestra para el área I (tabla VI), relaciones de interés del SO₂ con los NO_x y de los BTX con ambos, así como de estos tres contaminantes con el SH₂, dadas las distancias de unión encontradas en el programa de amalgamación. En las áreas II y III (tablas VII y VIII), las relaciones de mayor interés son las de SO₂ con los NO_x y de ambos con el SH₂, de acuerdo al programa de amalgamación obtenido para éstas.

Considerando las tres áreas evaluadas en el mar, se obtuvo una concentración promedio de 0.3 mg/m³ de H₂S, 0.03 mg/m³ para SO₂ y 0.01 mg/m³ para NO_x. Si comparamos estos resultados con los encontrados en los últimos 10 años en el área de yacimientos del litoral noreste de las provincias Habana-Matanzas (Díaz *et al.*, 2009), se ha obtenido para el área objeto de estudio una concentración promedio mayor que la reportada en el litoral noreste para el H₂S (0.2 mg/m³) y menor para los contaminantes SO₂ (0.06 mg/m³) y NO_x (0.03 mg/m³), las cuales están relacionadas con las emisiones es-

tacionarias ubicadas en esta zona (flares de baterías de crudo y emisiones de centros colectores).

Los resultados de estas investigaciones son de interés para diversas esferas económicas, tales como: la exploración y explotación de crudos, el turismo, la pesca y la seguridad marítima, que brindan conocimientos para obtener los modelos del comportamiento de los contaminantes en la zona y contribuyen a la prevención de desastres ecológicos irreversibles para la flora y la fauna, y para el desarrollo de una política correcta en el manejo ambiental de los ecosistemas marino-costeros asociados.

CONCLUSIONES

La concentración promedio de H₂S en la zona resultó elevada y está asociada con emisiones naturales de compuestos azufrados producto de la descomposición natural de la vegetación marina.

Los valores de concentración de SO₂ y NO_x cumplen con la norma de calidad del aire y presentan una distribución similar entre las estaciones de monitoreo, en correspondencia con la distancia de las fuentes emisoras. Los niveles de HC y de BTX resultaron aceptables.

Se ha obtenido para el área objeto de estudio una concentración promedio mayor para H₂S y menor para SO₂ y NO_x, que las reportadas en el litoral noreste, las cuales están relacionadas con las emisiones estacionarias ubicadas en esta zona.

Para las estaciones de las áreas I, II y III, se obtuvieron relaciones de interés del SO₂ con los NO_x y de ambos con el SH₂, de acuerdo al análisis estadístico aplicado.

Se comprobó estadísticamente que no hubo influencia de las emisiones del barco sobre los nive-

Tabla vi. Schedule de amalgamación. *ÁREA = A I*

	Obj. No. - 1	Obj. No. - 2	Obj. No. - 3	Obj. No. - 4	Obj. No. - 5	Obj. No. - 6
0.0370675	SO ₂	NO _x				
0.0413401	BTX	SO ₂	NO _x			
1.032151	BTX	SO ₂	NO _x	H ₂ S		
13.72030	BTX	SO ₂	NO _x	H ₂ S	RAPIDEZ	
706.9454	CH ₄	BTX	SO ₂	NO _x	H ₂ S	RAPIDEZ

Tabla vii. Schedule de amalgamación. *ÁREA = A II*

	Obj. No. - 1	Obj. No. - 2	Obj. No. - 3	Obj. No. - 4	Obj. No. - 5	Obj. No. - 6
0.0953585	SO ₂	NO _x				
1.579727	H ₂ S	SO ₂	NO _x			
4.463232	H ₂ S	SO ₂	NO _x	RAPIDEZ		
185.0161	CH ₄	H ₂ S	SO ₂	NO _x	RAPIDEZ	
224.7450	CH ₄	H ₂ S	SO ₂	NO _x	RAPIDEZ	BTX

Tabla viii. Schedule de amalgamación. *ÁREA = A III*

	Obj. No. - 1	Obj. No. - 2	Obj. No. - 3	Obj. No. - 4	Obj. No. - 5	Obj. No. - 6
0.3919350	SO ₂	NO _x				
1.170700	H ₂ S	SO ₂	NO _x			
61.89058	H ₂ S	SO ₂	NO _x	RAPIDEZ		
1173.876	CH ₄	BTX				
1212.252	CH ₄	BTX	H ₂ S	SO ₂	NO _x	RAPIDEZ

les medidos de contaminantes en las estaciones de monitoreo en el mar, dados los resultados obtenidos en el análisis de varianza.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM. D 1357-95 (2001). "Standard Practice for Planning the Sampling of the Ambient Atmosphere". *Annual Book of ASTM Standards*, 11(03). PA, USA.

ATSDR (2006). *Toxicological Profile for Hydrogen Sulfide*. Atlanta: US Dept. Of Health and Human Services.

Díaz, M., A. Navarro, A. Rodríguez, V. Paumier, J. N. La Maza (2009). "Gestión de la contaminación atmosférica en el litoral norte de La Habana". *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 5(2), 168-173.

EURACHEM/CITAC Guide (2012). En: S. L. R. Ellison and A. Williams (eds.). *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*. 3rd edition, 141 pp.

Holmes-Farley, R. (2008). "ORP and the Reef Aquarium". *Reefkeeping Magazine™ Reef Central, LLC-Copyright ©*.

IFC-World Bank Group (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Offshore Oil and Gas Development*. Washington, D.C.; 25 pp.

ISO (2012). *isc Fields 13.040.20 Ambient Atmospheres*. Disponible en: <http://www.iso.org/>

Kump, L. R., A. Pavlov, M. A. Arthur (2005). "Massive Release of Hydrogen Sulfide to the Surface Ocean and Atmosphere during Intervals of Ocean Anoxia". *Geology*, 33, 397-400.

NC 872:2011 (2011). *Sustancias nocivas en el aire de la zona de trabajo. Evaluación de la exposición laboral. Requisitos generales*.

NC 39:1999 (1999). *Calidad del aire. Requisitos higiénico-sanitarios*.

ONRM (2005). *Regulación Ambiental 01: Estudio de LBA e identificación de recursos sensibles costeros en proyectos de EP petrolera costa afuera*. La Habana.

Žujić, A., B. Radak, A. Filipović, D. Marković (2009). "Extending the Use of Air Quality Indices to Reflect Effective Population Exposure". *Environ. Monit. Assess.*, 156, 539-549.

Zonificación y elaboración de cartografía por riesgo de inundación en la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, en Guerrero

Justiniano González González, Maximino Reyes Umaña, Gloria Torres Espino

RESUMEN

Este trabajo de investigación es una propuesta para cualquier ciudad del mundo, pero en especial para los lugares con mayor riesgo de desastres causados por los fenómenos meteorológicos. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son en la actualidad una herramienta de gran utilidad para la prevención de desastres.

INTRODUCCIÓN

México presenta un alto grado de vulnerabilidad a los huracanes. La razón es su situación geográfica: está ubicado en cuatro de las seis regiones generadoras de ciclones del mundo; éstas influyen en el territorio de Tehuantepec, en la región oriental del Mar Caribe, la Sonda de Campeche y en la región oriental del Atlántico.

En las últimas décadas, los fenómenos naturales en México han provocado en promedio 100 muertos y daños materiales por cerca de 700 millones de dólares; es por ello que el tema de la prevención

de desastres ha tomado relevancia en la agenda de la protección civil. Asimismo, es indispensable establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos y no solo prestar atención a las emergencias y desastres (Cenapred, 2001).

Los peligros naturales y la vulnerabilidad de la comunidad, se distribuyen en el espacio y por eso el riesgo es intrínsecamente un fenómeno geoespacial y su evaluación debe tratar no solamente su magnitud, sino también sus variaciones geoespaciales. La evaluación de riesgo es compleja y

requiere una amplia gama del conocimiento de las ciencias físicas y socioeconómicas, y por lo tanto es multidisciplinaria en su naturaleza (Alva, 2005).

Los efectos de estos fenómenos, en términos de marejadas y vientos, se resienten principalmente en las zonas costeras del Pacífico, del Golfo y del Caribe. Las lluvias intensas que estos fenómenos originan pueden causar inundaciones y deslaves no solo en las costas, sino también en el interior del territorio. Según el Cenapred, de los 25 ciclones que en promedio llegan cada año a los mares cercanos al país, cuatro o cinco suelen penetrar en el territorio y causar daños severos. También se presentan lluvias intensas, con las consecuentes inundaciones y deslaves importantes, y con mucha frecuencia de manera independiente de la actividad ciclónica, debido a las tormentas que se generan en la temporada de lluvias (Cenapred, 2001).

Las inundaciones son el tipo más común de desastre en todo el mundo y se estima que constituyen el 40% de éstas. Datos publicados por la Cruz Roja Internacional de 1900 a 1976 sobre los daños ocasionados por los principales desastres en el mundo, muestran que las inundaciones producen más damnificados que el resto de los desastres y el número de fallecidos es superado solamente por terremotos (OPS, 1982).

INUNDACIONES EN ACAPULCO

El huracán Paulina “pegó” aproximadamente en 200 millas a la costa del Pacífico sur de México el 8 de octubre de 1997. Causó daño significativo y siguió con fuerza hacia el interior, donde produjo lluvias pesadas, parangones a la costa y provocó desastres debido a diluvios en las regiones montañosas de los estados de Oaxaca y la parte sur de Guerrero.

El fenómeno arribó a Acapulco en las horas tempranas del 9 de octubre. La tormenta había perdido la mayoría de su fuerza en términos de velocidad del viento, altura de ola de mar y ola de la tormenta. No obstante, produjo lluvia extraordinaria en la bahía de Acapulco. Como menciona

Toscana (2003), la precipitación sumó más de 350 mm (13.65 pulgadas) en cuatro horas, esto es, un cuarto de la lluvia media anual para la ciudad. Los flujos de ésta produjeron el peor desastre natural en Acapulco en los últimos 30 años.

Todo esto se agravó por la orografía de Acapulco, como menciona Toscana (2003), ya que a manera de anfiteatro abierto hacia el mar, impidió que Paulina avanzara tierra adentro, por lo cual las precipitaciones ocurrieron sobre la cadena montañosa, del lado de la bahía. El exceso de agua precipitada en un breve lapso derrumbó grandes bloques de granito (previamente “preparados” para ser transportados), que fueron arrastrados por densas corrientes a través de los cauces naturales y arrasaron con todo lo que encontraban a su paso, hasta zonas de menor nivel topográfico y menor inclinación.

Otro problema es la población, la cual ha aumentado en proporción significativa durante los últimos 40 años. Los pagos humanos más pobres se localizan en las elevaciones más altas de la bahía y muchos de ellos se han extendido en las barrancas que reciben lluvias pesadas estacionales.

El daño tuvo lugar cuando los arroyos intermitentes, se empezaron a desarrollar en la parte más alta de la cordillera que rodea la bahía de Acapulco; el flujo corrió abajo con bastante fuerza y arrastró piedras, enarene y ruinas. Los diluvios de llamada ocurrieron en varias barrancas, donde los pagos humanos se hicieron presentes (Toscana, 2003).

Acapulco había sido afectado a través de varios diluvios en el pasado, pero nunca en la historia reciente ha tenido lluvias que hayan causado el arrastre de las piedras de granito de la parte superior de la bahía para desalojar y producir flujos de las ruinas. Ningún trabajo de protección se había proporcionado contra este tipo de evento. Desgraciadamente, la situación permanece crítica para los miles de personas que viven en las áreas muy vulnerables de la barranca, en la parte más alta de la ciudad. Algunas de ellas se han relocalizado, pero muchas viven en los mismos lugares, expuestas a diluvios del futuro. Para remediar en algo lo ante-

rior, se prepara un proyecto comprensivo para la regulación de diluvios de llamarada y flujos de las ruinas. Sin embargo, los trabajos necesarios serán sumamente caros y por largo tiempo. En una base a corto plazo, un sistema de alerta está llevándose a cabo para advertir a las personas que viven en áreas expuestas a inundaciones para evacuar las zonas cuando la lluvia pesada se presente con fuerza. Se ha estado preparando un plan de control en colaboración con la Comisión Nacional del Agua (Conagua), Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) y la autoridad municipal de Acapulco (Cenapred, 2001).

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

El SIG como una herramienta de ayuda para la prevención antes de las inundaciones

El SIG, definido por Burrough (1986), es un “poderoso conjunto de herramientas para coleccionar, almacenar, recuperar, transformar y exhibir datos espaciales referenciados al mundo real”. En realidad, existen diversas definiciones de SIG; sin embargo, Silva (2003) las sintetizó en la definición de los requisitos necesarios de un sistema para que sea considerado un SIG:

el SIG necesita usar el medio digital, por tanto el uso intensivo de informática es imprescindible; debe existir una base de datos integrada, estos datos necesitan estar geo-referenciados y con control de errores; el SIG debe contener funciones de análisis de estos datos, variando de álgebra cumulativa (ej: operaciones de tipo suma, substracción, multiplicación y división) hasta álgebra no cumulativa (operaciones lógicas).

Grigg (1996) definió el análisis de sistemas como la “aplicación de modelos y bancos de datos basados en la computadora para analizar sistemas en una base holística, de manera que muestre como los elementos del sistema interactúan entre sí y con sus ambientes externos”. En su estudio sobre gestión de recursos hídricos, este autor definió su enfoque sistémico como “un método sistemático para conceptualizar el sistema de recursos hídricos y utilizar herramientas de análisis de sistemas bancos de datos, modelos, sistemas de informaciones geográficas (SIG) para identificar y evaluar estrategias de gestión”. Las herramientas de análisis de sistemas pueden generar conocimientos que pueden ser usados en un proceso de toma de decisiones, pero ellas no toman decisiones por sí solas, excepto, tal vez, en decisiones operacionales en un nivel más bajo.

Slocombe (1993) resalta que el SIG, aunque sea una importante herramienta para la planificación no la realiza por sí solo, pues la esencia del manejo integrado de recursos naturales se ha basado más en coordinación y orientación de metas que en los datos que le dan soporte.

Según Hutchinson y Toledano (1993), la historia reciente de transferencia de tecnología en el área de informática ha sido grande, con la incorporación de microcomputadoras en casi todos los sectores de negocios, investigación, gobierno, iniciativa privada y, en general, en la vida de las personas. En contraste, la adopción de tecnologías de información para recursos naturales, que están basadas en tecnología de computadoras, ha sido más lenta de lo que se esperaba. En particular, aunque disponible en varias formas en los últimos 20-25 años, el uso de tecnologías aliadas a la percepción remota por satélites y SIG, para agricultura y manejo de los recursos naturales, ha sido más lento.

SISTEMA DE COORDENADAS

En este trabajo estamos utilizando la conocida proyección de Mercator, denominada así porque su desarrollo se debió al geógrafo flamenco Gerardus Mercator, que es una proyección cilíndrica y, a la vez, conforme. Un mapa de proyección de Mercator es muy exacto en las regiones ecuatoriales, pero se distorsiona bastante en las áreas de las latitudes altas. Sin embargo, las direcciones se representan con gran fidelidad y esto tiene especial importancia para la navegación (con este fin concibió Mercator su mapamundi en 1569).

SISTEMA DE COORDENADAS

La proyección cartográfica utilizada es la Universal Transversa de Mercator (UTM), que en la zona 14 tiene las siguientes características:

- Unidades en metros.

- Zona definida cada 6 grados de longitud.
- Datum NAD27.
- Elipsoide de Clarke de 1866.
- Origen de coordenadas en x: 500 000 m.

ÁREA DE ESTUDIO

La palabra “Acapulco” proviene de una voz náhuatl que significa “lugar de las cañas”.

Acapulco de Juárez (ciudad) (denominada de forma abreviada Acapulco), ciudad y puerto marítimo del suroeste de México, situada en el estado de Guerrero, junto al Océano Pacífico (figura 1).

CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

Ubicación geográfica

Acapulco se ubica en las coordenadas: 17°14' L.N. al norte; 16°41' L.N. en el sur; 99°29' L.W. al este; y al oeste, 100°00' L.W.

Superficie

Cuenta con un territorio de 1882.6 km², que

representa 2.6% de la superficie del estado y su litoral tiene una longitud de 62 km, que representa 12.3% de la costa guerrerense.

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La geología del municipio de Acapulco está constituida por macizos de rocas cristalinas de composición granítica, que se elevan flanqueando a la bahía de Acapulco por el interior hasta alturas cercanas a los 1000 msnm; por ejemplo, el Cerro del Veladero de 950 msnm.

Las tierras bajas de la planicie costera consisten en sedimentos arenosos cuaternarios, de origen marino o costero, y en las planicies interiores yacen depósitos recientes de origen aluvial.

Por otra parte, los datos fisiográficos generales del municipio son:

- Altitud: 4 msnm, tierras bajas.
- Altitud dominante: 200 msnm, elevaciones y laderas de montaña.

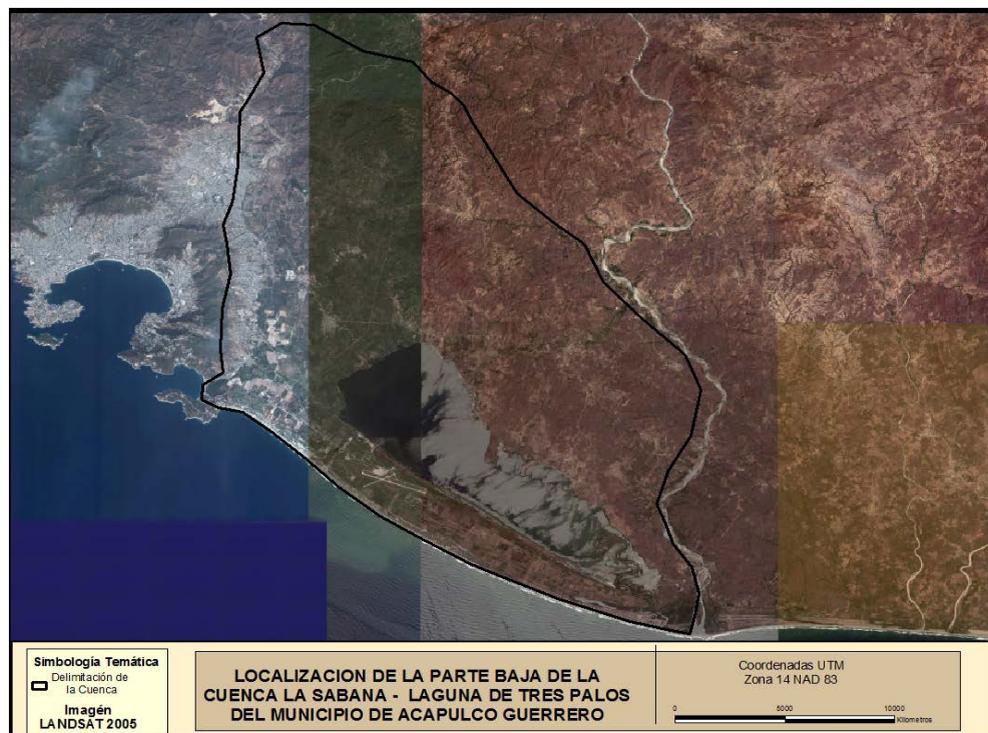


Figura 1. Ubicación del área de estudio de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, en el estado de Guerrero.

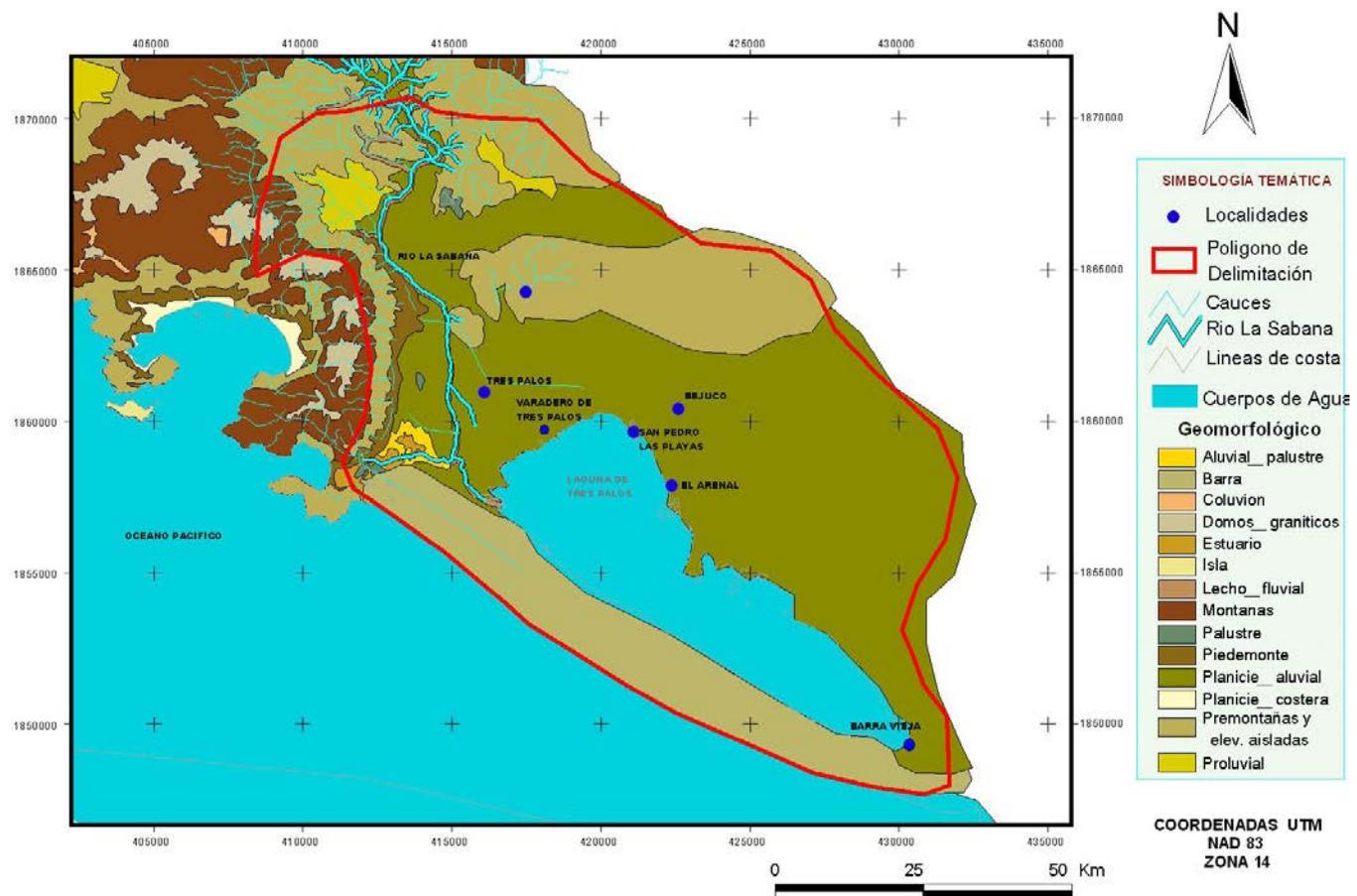


Figura 2. Mapa geomorfológico de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos.

- Pendiente media: 3° en las llanuras y muy variable en las elevaciones.
- Densidad hidrográfica: media.
- Drenaje del suelo: moderado.

El relieve del municipio de Acapulco está conformado por elevaciones montañosas, cuyas laderas exhiben procesos de disección y socavación por acción de numerosos torrentes, los cuales se desprenden prácticamente desde el parteaguas. En las laderas externas y sobre la porción inferior de las vertientes, se identifica una zona de piedemonte con depósitos coluviales (de gravedad) y proluviales (de río o torrente). Este esquema no se aplica para el relieve de salientes y/o puntas como Punta Diamante y Punta Grifo. En las laderas inferiores o internas, es decir, las que miran o se enfrentan a la

porción continental, los depósitos de piedemonte se encuentran en proceso de disección. Como proceso accesorio se distingue a todos aquellos que corresponden a los desprendimientos o caídas de rocas, así como a los flujos de escombros y deslizamientos (figura 2).

CLIMA

En el área de estudio prevalece el tipo climático denominado cálido subhúmedo con lluvias de verano de humedad media, cuya fórmula completa es: $Aw'(w'1)i$.

La temperatura media anual es de 27.6 °C, con una ligera oscilación a lo largo del año (2.5 °C), por lo cual se ubica dentro de la categoría de isotermal, siendo el mes de enero el más frío con una temperatura media de 26.2 °C y agosto el más caliente

con una temperatura media de 28.7 °C (ver tabla 1). Entre los meses de mayo y octubre es cuando se presentan las temperaturas mensuales más altas (media, máxima extrema, máxima media, mínima media y mínima extrema), así como también la menor oscilación, llegando a presentarse temperaturas hasta de 40.5 °C en mayo. Por el contrario, la temporada menos cálida se presenta entre los meses de diciembre y marzo (INEGI, 2010) (figura 3).

La precipitación promedio anual es de 1415 mm, siendo septiembre el mes más húmedo con una precipitación promedio de 366.4 mm, y febrero y marzo los meses más secos con una precipitación

de 0.7 mm. La zona tiene una marcada estacionalidad en su régimen de lluvias; entre los meses de junio y octubre se presenta el 93.8% de la lluvia total anual (ver tabla 2). Además, se presentan dos temporadas de lluvias, separadas por un corto periodo de sequía durante el verano (julio-agosto) y un largo y más severo durante el invierno (INEGI, 2010).

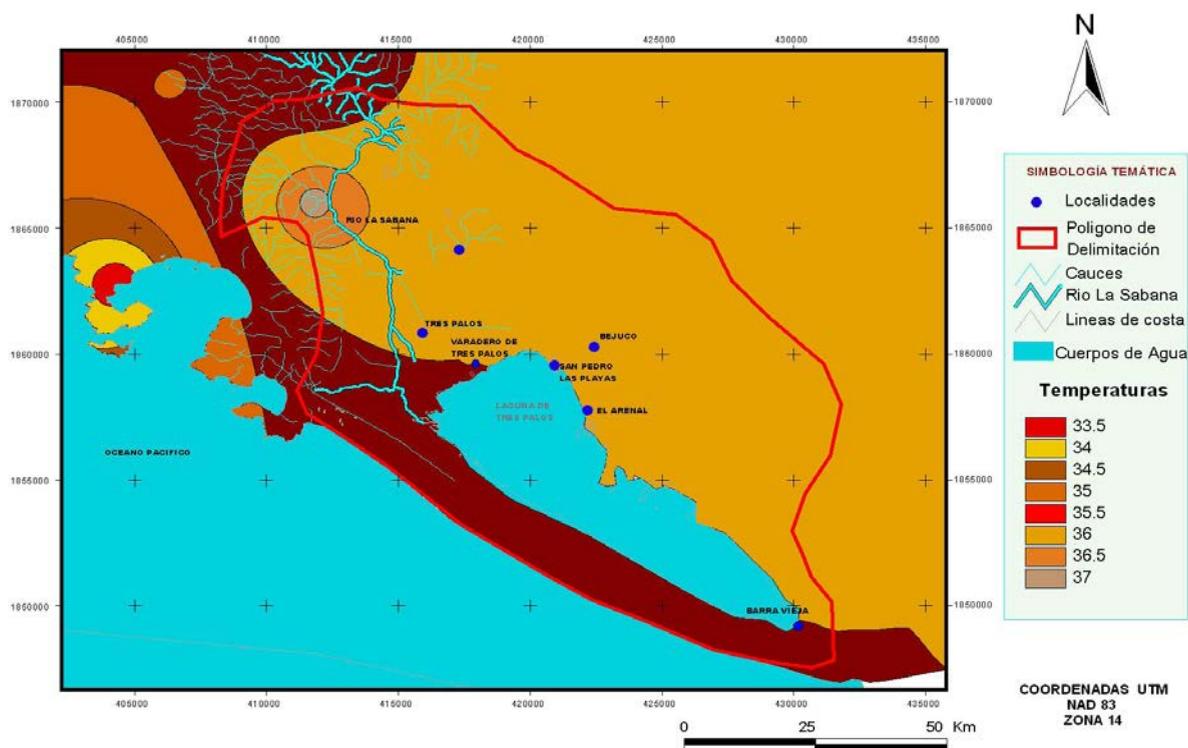


Figura 3. Mapa de temperatura de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos.

Tabla 1. Temperatura del área que envuelve al polígono

Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Máxima extrema	36.0	36.0	39.5	37.0	40.5	39.0	37.6	37.0	36.8	37.0	37.0	35.8	0.5
Promedio de máxima	31.0	31.0	31.0	31.6	32.3	32.3	32.5	32.7	31.9	32.2	31.9	31.3	31.8
Media	26.2	26.3	26.6	27.3	28.5	28.5	28.5	28.7	27.9	28.2	27.6	26.8	27.6
Promedio de mínima	21.8	21.7	21.9	22.7	24.2	24.7	24.6	24.6	24.2	24.1	23.4	22.4	23.4
Mínima extrema	16.0	16.2	15.8	15.5	17.4	20.4	21.0	20.5	17.3	15.5	17.6	16.8	15.5
Oscilación	9.2	9.3	9.2	8.9	8.1	7.6	7.9	8.1	7.7	8.1	8.5	8.9	8.5

Tabla 2. Precipitación pluvial en el área

Precipitación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Media	12.3	0.5	1.1	4.5	30.2	269.3	240.3	245	389.2	154.7	50.7	6	1403.8
Máxima	134.5	6.2	20	74	187.4	757.4	885.5	853.5	798.2	429.2	568.4	52	885.5
Máxima en 24 horas	49	5	20	74	105.6	384	204.1	198	234.5	137	224.1	50	384
Máxima en 1 hora	22	0.7	0	26.6	38	196	68	78	75.9	58.3	29.5	22	196
Mínima	2	0.5	1	0.5	1	25.7	29.6	45.9	49.5	0.6	0.3	0.4	0.3

Por la posición geográfica y por estar en una zona costera, el área de estudio está sujeta a frecuentes tormentas tropicales y ciclones que provocan lluvias torrenciales en cortos periodos de tiempo. Durante una y veinticuatro horas puede llover hasta 196 y 384 mm, respectivamente (junio).

La época del año en que el área está expuesta a precipitaciones muy abundantes durante cortos

periodos de tiempo, es entre junio y noviembre. Esta característica de lluvias torrenciales frecuentes, combinada con la deforestación de las partes altas y la invasión y obstrucción de las barrancas, es la causa de los principales riesgos climáticos y geomorfológicos de la colonia: deslizamientos de tierra en las partes altas e inundaciones en las bajas (figura 4).

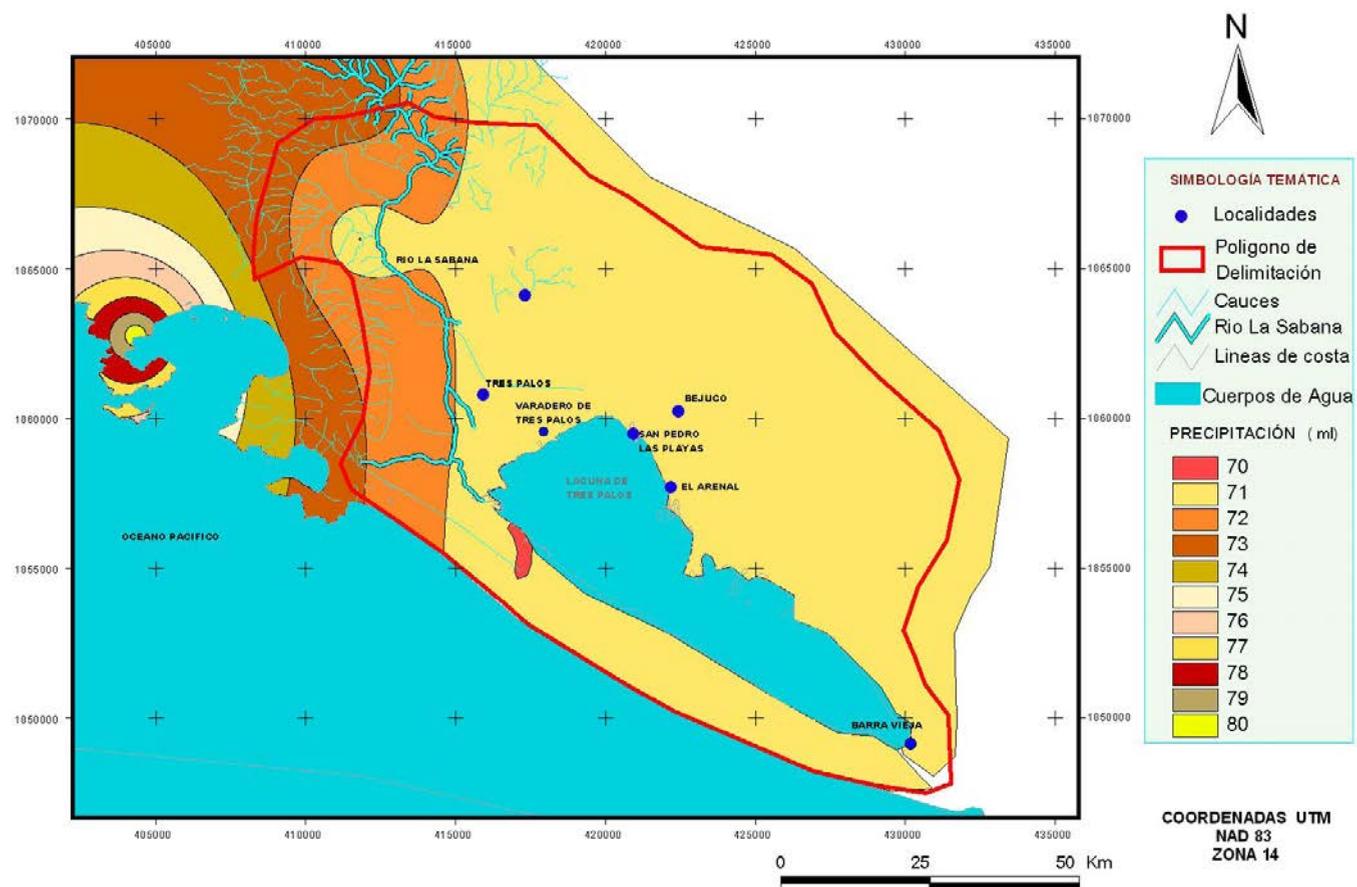


Figura 4. Mapa de precipitación de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, en el estado de Guerrero.

HIDROLOGÍA

La región de estudio se encuentra inserta en la Región Hidrológica núm. 19 (Costa Grande). Corresponde a la cuenca del río La Sabana y a la parte sur de la cuenca del río Coyuca, desde la parte norte de la localidad Aguas Blancas hasta la desembocadura del río Coyuca.

La Laguna de Tres Palos es un importante cuerpo de agua situado en la Costa Grande de Guerrero, a 25 km de Acapulco, que se comunica al mar mediante un canal meándrico de aproximadamente 10 km de longitud; este canal se origina en la porción oeste de la laguna y termina en la barra (solo se abre temporalmente una vez al año). El uso del río La Sabana es principalmente doméstico, industrial y de riego (figura 5).

EDAFOLOGÍA

De acuerdo a la clasificación de la FAO/Unesco, modificada por el INEGI, los suelos de la región

corresponden a: litosol, regosol, vertisol, feozem, gleysol, cambisol, luvisol y fluvisol, en la zona de estudio.

- Litosol (L, LPq): suelos de menos de 10 cm de espesor sobre roca o tepetate, no aptos para cultivos.
- Regosol (Re, RGe): suelos formados por material suelto que no sea aluvial reciente como: dunas, cenizas volcánicas, playas, etcétera. Su productividad es reducida y se restringe a cocoteros y frutales.
- Vertisol (VP, Vre): suelos de textura arcillosa y pesada, que se agrietan notablemente cuando se secan. Tienen dificultades en su labranza, pero son adecuados para una gran variedad de cultivos.
- Feozem (Hh, Phh): suelos con horizonte A mólico. Pueden presentar horizonte B cambico, de fertilidad moderada a alta. Se en-

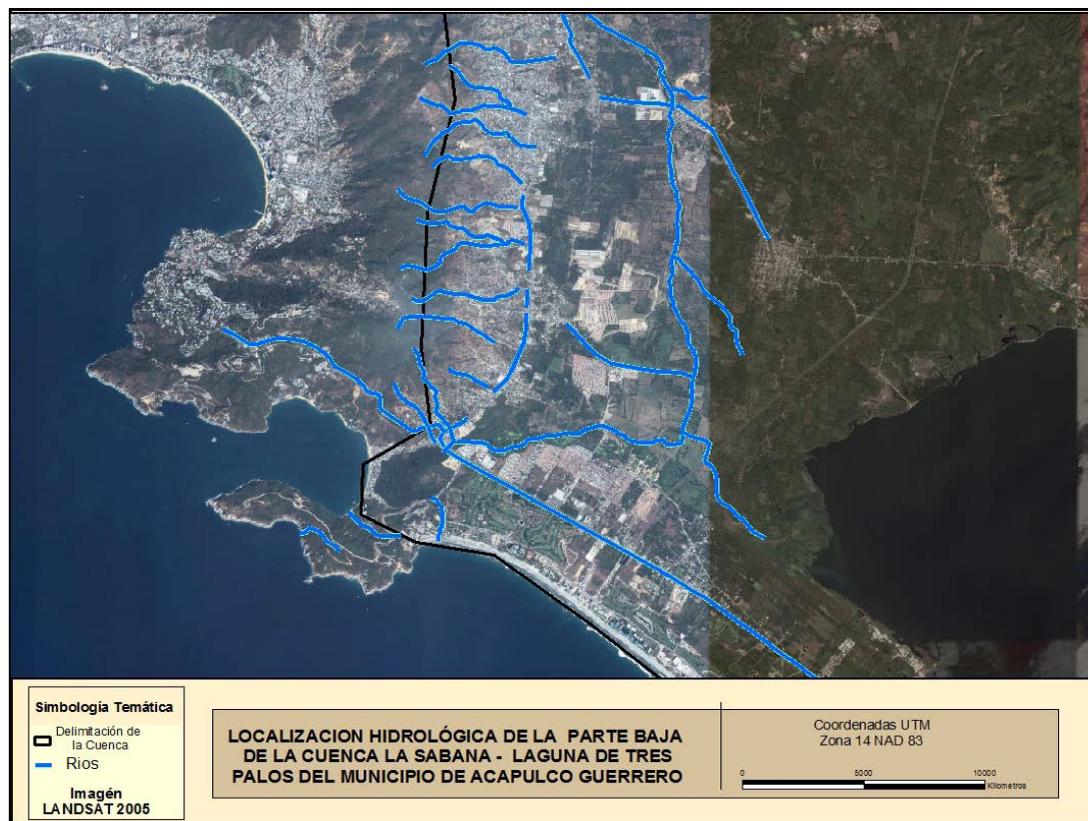


Figura 5. Mapa hidrológico de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, en el estado de Guerrero.

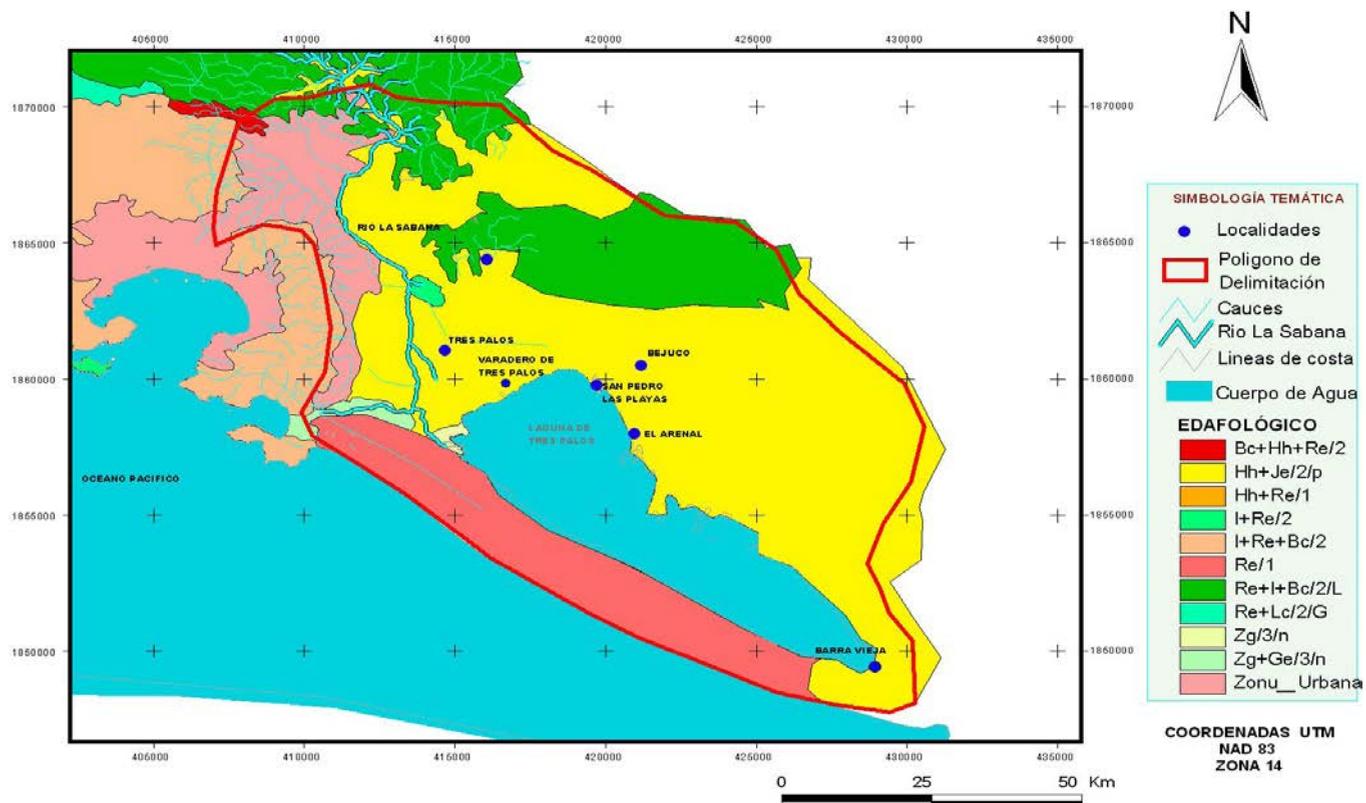


Figura 6. Mapa edafológico de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos, en el estado de Guerrero.

cuentran principalmente sobre áreas planas.

- Gleysol (Ge, GLe): suelos con horizonte gleyico, a menos de 50 cm. Se pueden destinar a actividades agropecuarias con cultivos que toleren excesos de agua por medio de obras de drenaje.
- Cambisol. En el área se encuentran el cambisol eútrico (Be, CMe) y el cambisol crómico. El primero se puede dedicar a la agricultura; el segundo se asocia a aspectos forestales.
- Luvisol (L, LV): suelos con horizonte A, ócrico o úmbrico y B argílico. Son ricos en nutrientes.
- Fluvisol (J, Fl): suelos de origen aluvial reciente, que pueden tener un horizonte A ócrico. Son variables en su fertilidad.

RELACIÓN TOPOFORMA-SUELOS

En la unidad de montaña los suelos que predominan en la zona noroeste son los cambisoles; hacia la porción centro-norte se identificaron asociaciones de cambisoles con feozem; además, se observa regosol eútrico en la subunidad de playa arenosa en la línea de costa, y en el sistema de piedemonte, la unidad edáfica predominante es el regosol eútrico.

Los feozem se detectaron en las llanuras fluviales, áreas casi planas que no presentan problemas de drenaje. Es el caso de la llanura del río La Sabana. La llanura de cordones litorales presenta suelos Solonchak, que son poco desarrollados. El tipo de vegetación son pastizales salinos o plantaciones de cocoteros.

Al oeste de la desembocadura del río La Sabana, se ubica la llanura fluvio-palustre. El suelo predominante es gleysol, sujeto a inundaciones por periodos más o menos prolongados; con vegetación hidrófila enraizada emergente y flotante (figura 6).

POBLACIÓN

Aspectos demográficos

El municipio de Acapulco de Juárez comprende 237 localidades, las cuales se encuentran distribuidas mayoritariamente de 1 a 99 habitantes (49%); en segundo lugar de 100 a 499 habitantes (26.6%) y de 500 a 999 habitantes con 13.5%. La mayor concentración de población fue en el segmento de 500 000 a 999 999 habitantes, que representa 0.4% de las localidades y 86.2% de la población, que es precisamente en donde se encuentra la cabecera municipal.

La tasa de crecimiento de la población, aunque ha venido declinando desde 1970, se ha mantenido elevada, por encima de la del estado de Guerrero y también de la nacional; cerca del 80% del crecimiento es natural.

De acuerdo a los resultados preliminares del Censo de Población y Vivienda 2010, la población del municipio es de 789 971 habitantes, sin considerar la población flotante local y turística, habiéndose así multiplicado por 13 veces en los últimos 50 años. El crecimiento poblacional observado en el último quinquenio es de 1%.

La población en el municipio es predominantemente joven —65% es menor a 30 años— y

cálculos para el año 2015 señalan una población total de un millón cien mil habitantes, en la que se incorpora un segmento del municipio de Coyuca de Benítez, con lo que se presenta no solo una conurbación, sino un mercado importante que hace que la ciudad de Acapulco se encuentre dentro de las diez ciudades más importantes de México.

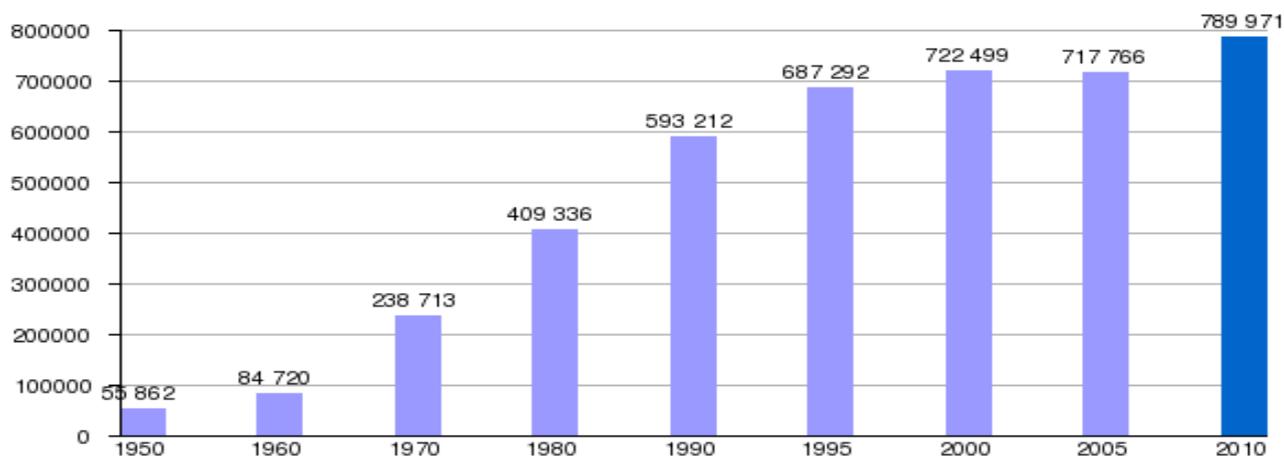
Actividades económicas

En 1990, la población económicamente activa era de 187 016 trabajadores, en una proporción de un trabajador por cada 3.6 personas del total de la población.

La actividad económica más importante se da en el sector terciario, siendo la rama de servicios la que concentra mayor actividad económica con 71 624 empleados; seguida de la rama comercial con 34 322 empleados y la rama manufacturera con 6436 empleados. La industria hotelera, restaurantes, transportes y comunicaciones, servicios financieros, seguros, bienes raíces, servicios bancarios, comunales, sociales y personales, se encuentran dentro de la rama de servicios.

La población económicamente activa del municipio es de 50.04%, la cual tuvo un incremento de 4.87% con relación a la década de los noventa. La actividad económica preponderante se da en el

Gráfica 1. Población del municipio de Acapulco por edad



Fuente: INEGI (2010).

sector terciario, siendo la rama de servicios la que concentra la mayor actividad con un 72.92%.

La rama turística compuesta por servicios, comercio y algunas otras actividades de la manufactura, es el eje motor que impulsa esta rama, ya que tan solo para 1998 captó un total de 4 931 173 visitantes, quienes generaron una derrama económica de 1417.9 millones de dólares y generaron 112 382 empleos, sin dejar de considerar los empleos indirectos que proporciona.

METODOLOGÍA APLICADA

Se consultaron diferentes bases de datos, así como las áreas espaciales homogéneas de acuerdo a su ocupación y uso actual del suelo. Se analizaron la geología, litología, hipsometría, hidrografía, vegetación y uso actual del suelo para elaborar el diagnóstico. Se elaboró una evaluación y se estableció el pronóstico de los resultados en las zonas de los cauces que van hacia la cuenca del río La Sabana-Laguna de Tres Palos.

El objetivo consistió en realizar un diagnóstico de la situación actual de cada una de las zonas afectadas, las cuales son evaluadas por un relevamiento a campo de diferentes aspectos temáticos, por ejemplo: vegetación y uso del suelo, fauna, drenaje, suelo, estratos geológicos visibles, relieve, topografía y aspectos socioeconómicos.

Para todo esto se diseñó una base de datos (Excel, 2007), que permitió una mayor facilidad de comparación de antecedentes e interacción de datos.

Los parámetros considerados para la confección del formato de toma de datos a campo fueron: código de identificación de la cuenca, paisaje morfológico, desnivel dentro de cada unidad y topografía local, tipo cuantitativo general de pendientes, gradiente general y orientación de las laderas, tipo de escurrimiento, tipo de protección vegetal, cultivo y uso del suelo, datos de presencia de estructuras geológicas, rasgos de inundación y aspectos socioeconómicos de los pobladores.

Todos estos datos son la base para la elaboración en gabinete de mapas temáticos primarios,

que por procesamiento vectorial y *raster*, y un consecuente procedimiento de superposición de los mismos, permitieron realizar mapas secundarios y confeccionar un mapa final con clases de erosión hídrica potencial (AutoCAD 2010; ArcGis 9.3; Envi 4.5).

Métodos utilizados

En esta investigación se utilizaron los siguientes métodos:

- Muestreo de campo.
- Cartográfico (SIG).
- Estadístico-matemático.
- Análisis espacial.

Se realizaron las siguientes actividades:

- Recopilación de información cartográfica y documental existente.
- Identificación del área de la cuenca del río La Sabana del municipio, de acuerdo a los mapas topográficos a escala 1:50 000 y 1:100 000.
- Elaboración de la base cartográfica de la zona de estudio ArcGis 9.3.
- Organización y análisis de la información del gabinete (prediagnóstico).
- Análisis del uso del suelo y tenencia de la tierra.
- Se recopiló toda la información relacionada con el área urbana actual de la zona en estudio, los cuerpos de agua, áreas de reserva, agrícolas y de preservación ecológica, obteniendo las bases de datos georreferenciados. Determinación *in situ* con el GPS.

MATERIALES

Base cartográfica compuesta de diferentes formatos de datos (dxf, shp, tab, etcétera). Las fuentes cartográficas mencionadas provienen para el nivel urbano de la cartografía censal urbana del Censo Económico de 2010, Población de 2010 y de Cartografía Vectorial (topográfica, toponimias) de

2010 del INEGI, en formato dxf genérico a escala 1:10 000, 1:50 000 y 1:100 000.

Otros materiales que se utilizarán para la ejecución del proyecto son: GPS *garmin laptop*; fotografías de áreas de la zona de estudio de diferentes años; fotografía satelital de la zona de estudio; mapas e información temática existentes de la zona de estudio; materiales para impresión en papel; material de impresión en formato digital, entre otros.

Entre los *software* que se utilizaron están: Map Info 9.0, ArcGis 9.3, Envi 4.5, AutoCAD Map 2010, Erdas Imagine.

Utilización del Modelo Digital de Elevación (MDE)
Fue indispensable incorporar el Modelo Digital del Terreno (MDT), ya que se utilizó para referirse a la representación digital de la superficie topográfica del área de estudio.

El MDE es la forma más simple de representación digital de la topografía y la más común. Es decir, la resolución, o distancia entre dos puntos adyacentes de la matriz, es un parámetro crítico de

cualquier MDE. Por lo general, la mejor resolución disponible es de 10 metros. Los conjuntos de datos generados se visualizan como superficies continuas y los operadores de los que tratamos aquí están diseñados para trabajar sobre cualquier superficie de tipo continua; por ejemplo: mapa de elevaciones, pendientes o superficies de la costa (figura 7).

De acuerdo con la metodología de los autores anteriores, se obtuvieron los datos, imágenes y mapas temáticos de INEGI, SIGSA, Pemex, para la elaboración de los mapas base para analizar las inundaciones en la ciudad de Acapulco:

- AGEB (calles, manzanas, colonias, escuelas).
- Hidrológico.
- Curvas de nivel.
- Uso de suelo.
- Densidad de población.
- Pendientes.
- Ortofoto digital (escala 1:10 000, 1:20 000).
- Imagen de satélite (escala 1:50 000).

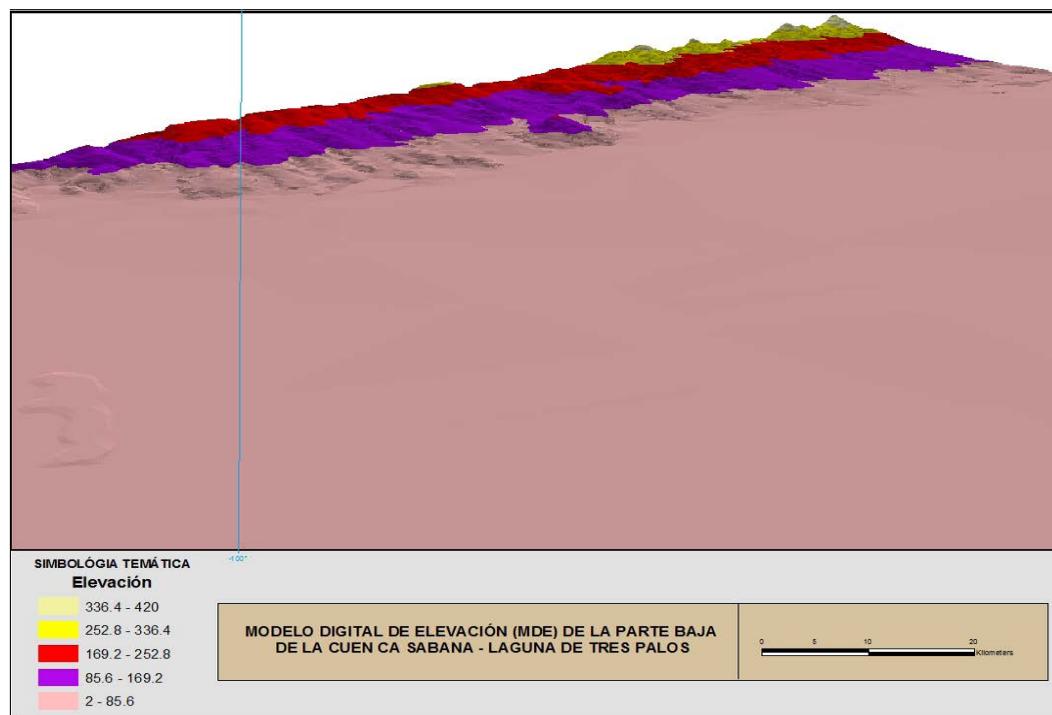
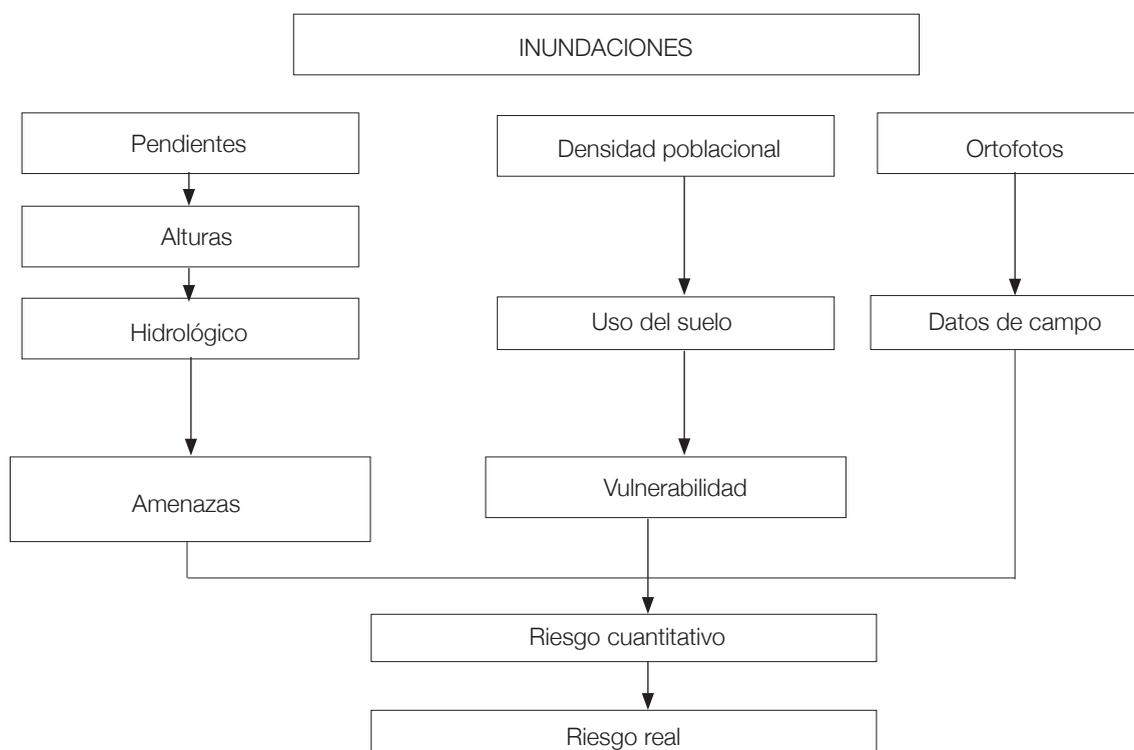


Figura 7. MDE de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos.



Gráfica 2. Diagrama del proceso de la información base para el cálculo del riesgo, basado en el método de evaluación de Sánchez M. (2001).

Teniendo como apoyo los mapas temáticos mencionados en los materiales y métodos, se reclasificaron y analizamos la información de cada tema en particular para generar, a partir de ellos, los mapas base, que son de suma importancia para la elaboración definitiva de los mapas totales de riesgos.

Para el tema de inundación se generaron los mapas base siguientes:

- Para el cálculo de la amenaza se siguió la siguiente secuencia metodológica. Se recopilamos como base las capas de relieve a escala 1:10 000 e hidrografía a escala 1:50 000.

- A partir de las curvas de nivel, se creó el TIN o MDT en formato vectorial. Posteriormente este modelo se convirtió a formato *raster* y se reclasificaron y ponderaron los rangos de alturas, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla Ponderaciones de las alturas del terreno en Acapulco

Rangos	Intensidad de inundación	Ponderación
0-10	Intensamente inundable	10
10-20	Muy inundable	8
20-40	Inundable	6
40-80	Medianamente inundable	4
80-150	Poco inundable	2
150-800	No inundable	0

Como resultados de la reclasificación de las alturas, obtuvimos el mapa que se muestra en la figura 8.

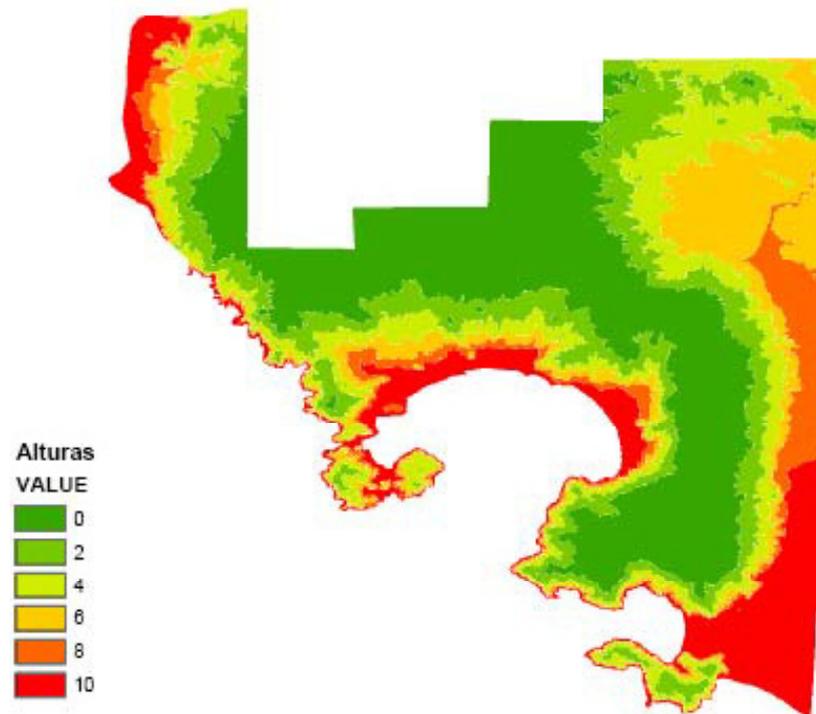


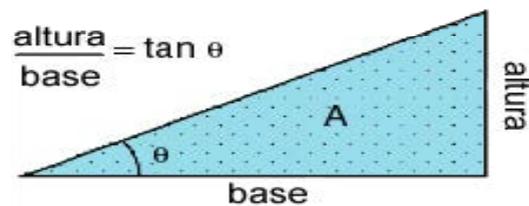
Figura 8. Mapa reclasificado de alturas de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos.

El menor rango de 0-10 m de altura es la zona en que, por las características de la orografía, existe una mayor probabilidad de inundación, pues son las áreas más bajas, y a este rango se le asignó un valor de ponderación igual a 10 y así sucesivamente para el resto de los rangos por orden de importancia en cuanto a probabilidad de inundación. Debemos decir que consideramos que las zonas con rangos de altura mayor de 150 m, no son inundables, debido a que implican terrenos fuertemente accidentados donde el agua se evacua con facilidad.

Cálculo de las pendientes

La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. A mayor inclinación mayor valor de pendiente. La pendiente se mide calculando la tangente de la superficie. La tangente se calcula dividiendo el cambio vertical en altitud entre la distancia horizontal. Si visualizáramos la superficie en sección transversal, podríamos ver un triángulo rectángulo (figura 9).

grado de pendiente = θ



grado de pendiente = 30°
 grado de pendiente = 58%

Figura 9. Grado de pendiente.

Normalmente la pendiente se expresa en planimetría como un porcentaje de pendiente que equivale al valor de la tangente (pendiente) multiplicado por 100.

$$\text{Porcentaje de pendiente} = \text{Altura} / \text{Base} * 100$$

Luego a partir del mapa de alturas y por las herramientas del SIG, se obtuvo el mapa de pendientes, el cual nos ayuda a determinar el potencial de escurrimiento de las diferentes zonas, según se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Reclasificación de las pendientes

Rangos	Intensidad de inundación	Ponderación
0-2	Intensamente inundable	10
2-4	Muy inundable	8
4-5	Poco inundable	6
5-7	Inundable	4
7-90	No inundable	0

Para este mapa se establecieron cinco rangos de pendientes, los cuales fueron ponderados como se muestra en la tabla 3, de acuerdo a la probabilidad de ser anegados por fuertes lluvias y siguiendo el criterio donde se considera que pendientes con una inclinación de más de 5-7 grados evacuan el agua con facilidad, por lo que las zonas con una pendiente superior a 7 grados las consideramos como no inundables, como se muestra en la figura 10.

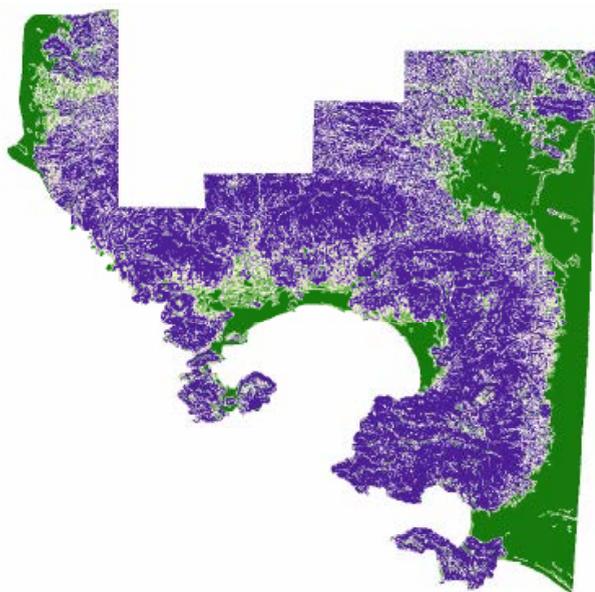


Figura 10. Mapa reclasificado de pendientes de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos.

Utilización de buffers

Finalmente, para el cálculo de la amenaza se trabajó con la capa de ríos. Con ésta se determinaron áreas de posible inundación a partir del cauce del río mediante la realización de *buffers* concéntricos y su posterior ponderación, tal y como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 4. Reclasificación de los buffers

Rango	Intensidad de inundación	Ponderación
0-50	Muy inundable	10
50-100	Poco inundable	6
100-150	No inundable	2

Se establecieron tres rangos de áreas de influencia a partir del cauce del río, con intervalos de 50 m cada una, que nos muestran la posibilidad de que, a partir del cauce, esas zonas sufran peligro de inundación por fuertes lluvias (figura 11).

Reclasificación del uso del suelo

Para el cálculo de vulnerabilidad nos apoyamos en la información existente a nivel de AGEB en la cartografía básica del INEGI y en el Scince 2010.

Lo primero que se realizó fue identificar los diferentes tipos de uso de suelo existentes en la zona estudiada. Con dicha información se generó un mapa temático que se convirtió a formato *raster* y se ponderó, de acuerdo al grado de afectación de los diferentes usos ante el peligro de inundación siguiendo el criterio de Pemex (2001), tal y como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 5. Reclasificación del uso del suelo

TIPO DE USO	PONDERACIÓN
Equipamiento urbano-turístico	10
Turístico	10
Habitacional-comercial	8
Habitacional	6
Turístico con norma ecológica	4
Equipamiento urbano	4
Parque	2
Agrícola	2

De forma que los sitios turísticos y comerciales serían los tipos de uso más vulnerables por posibles inundaciones, por los daños económicos que se provocarían a estas zonas; le sigue el daño humano y por eso se ubica con una ponderación menor a las áreas habitacionales.

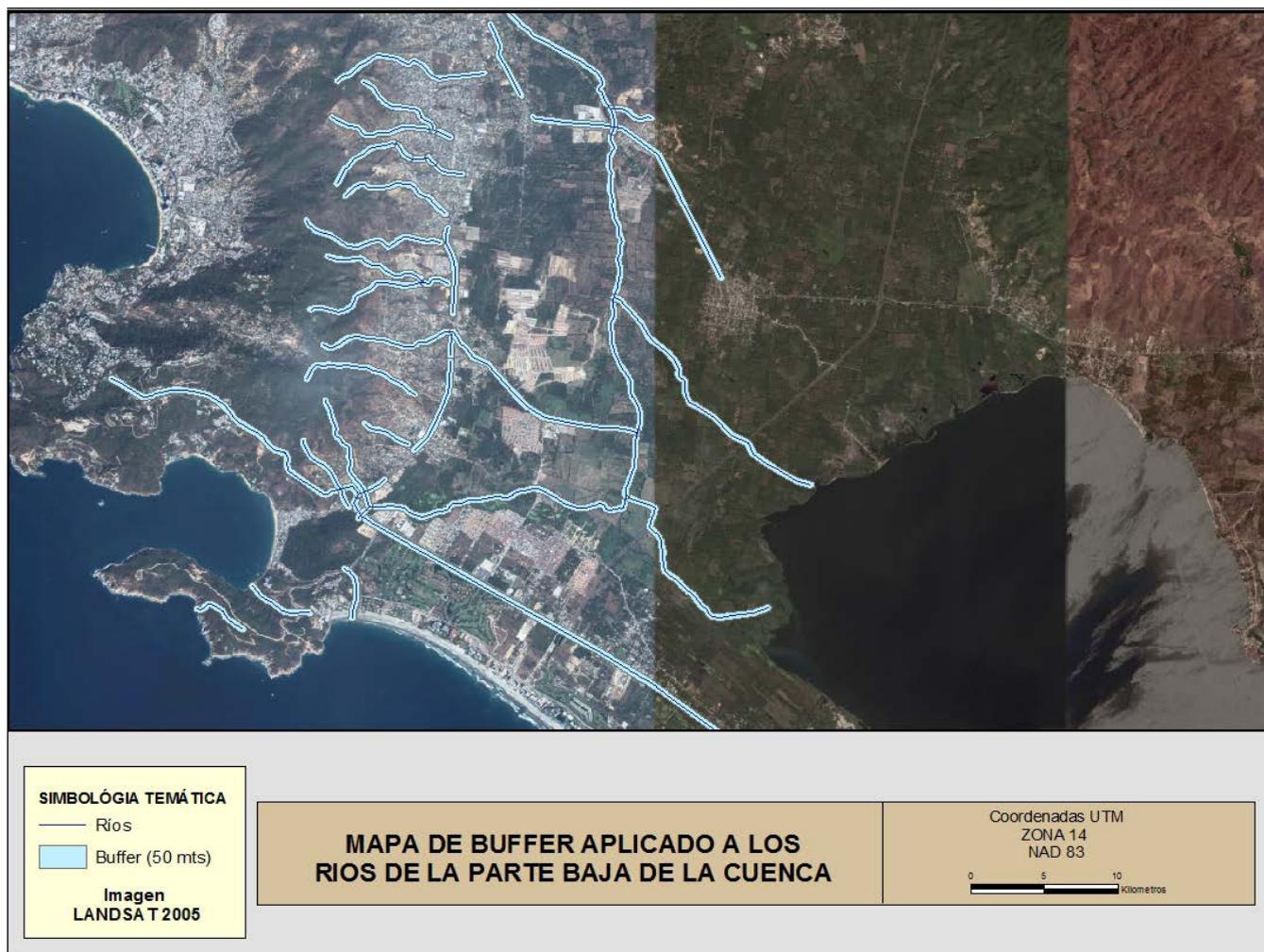


Figura 11. Mapa de buffer a 50 metros de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos.

De acuerdo con lo anterior, se obtuvo el mapa del uso del suelo reclasificado, como se muestra en la figura 12.

Cálculo de la densidad de la población

Otro de los indicadores de vulnerabilidad que usamos, aparte del uso del suelo, fue la densidad de población por AGEB. Para ello se utilizó la información disponible en el Scince 2010 y se calculó el área de cada AGEB por herramientas del SIG. Finalmente, la densidad de la población se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad de población} = \frac{\text{Población por AGEB}}{\text{Área del AGEB}}$$

Con el mapa de densidad de la población, se creó una ponderación que recoge la cantidad de población que estaría afectada por el peligro de inundaciones, acorde a la siguiente tabla:

Tabla 6. Reclasificación de densidad de la población

Rango de densidad de la población	Ponderación
0-50	2
50-100	4
100-150	6
150-200	8
200-487	10

De acuerdo con esta reclasificación, se obtuvo el mapa de densidad de la población (figura 13).

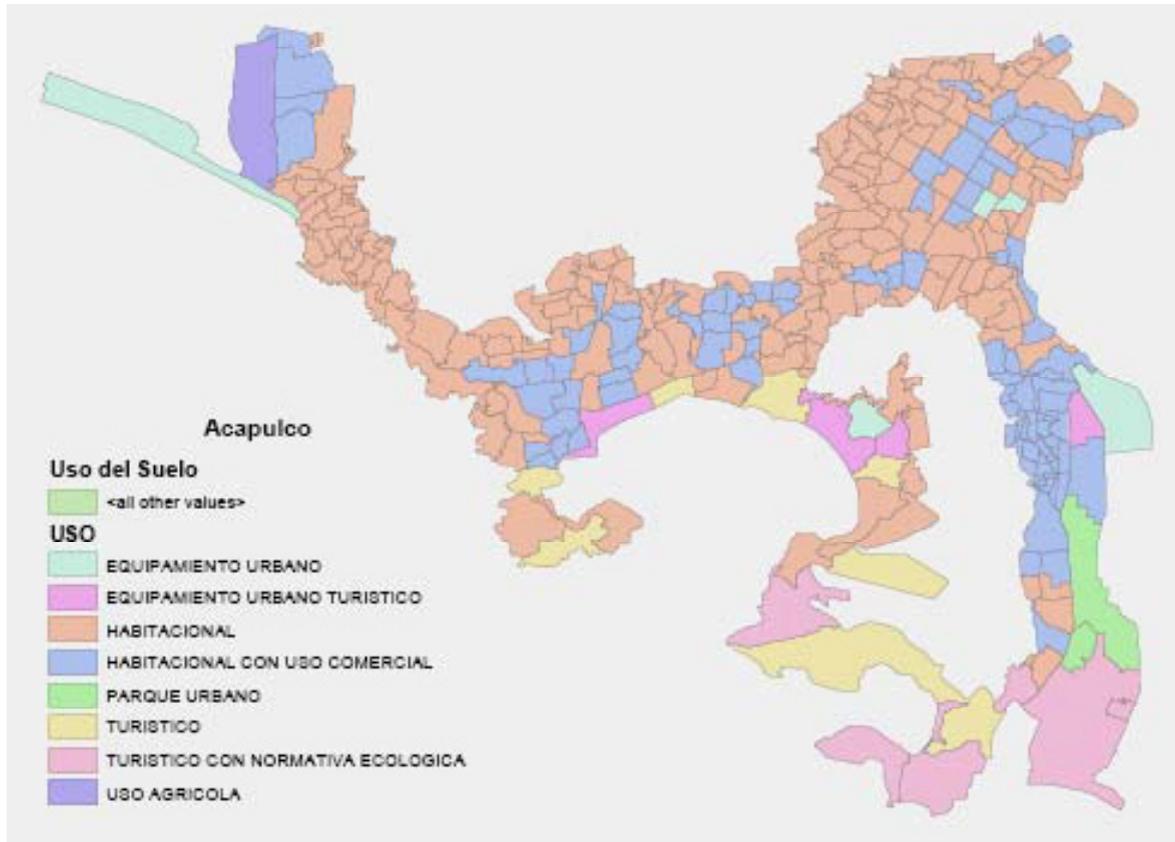


Figura 12. Mapa de reclasificado del uso del suelo de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos.

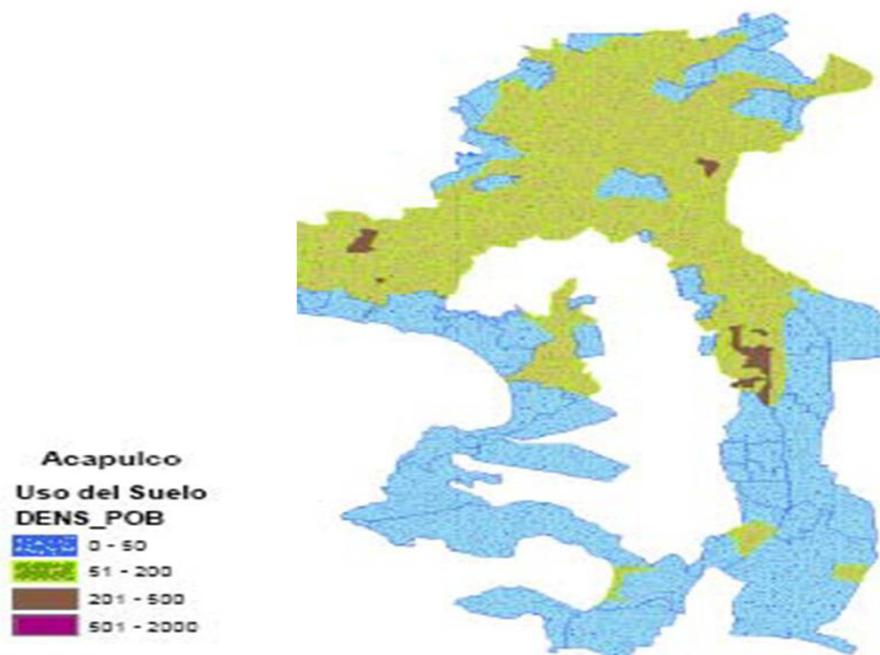


Figura 13. Mapa de reclasificado de la densidad de la población de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo todos los datos necesarios en los mapas base, se procedió con el último paso que fue el cálculo total del riesgo, es decir, se sumaron todos los mapas de amenazas, vulnerabilidad y los datos de campo para tener el mapa final de riesgo en inundaciones en la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos (figura 14).

En el mapa nótese las zonas de alto riesgo (gris oscuro). La mayoría de las zonas encontradas se encuentran entre los escurrimientos, arroyos, ríos y barrancas, que son unos de los principales indicadores de peligro y requieren de la atención de las autoridades locales. Estas áreas están ubicadas en la parte alta y en toda la zona plana de la cuenca, ya que la topografía de la misma presenta pendientes pronunciadas, lo cual trae como consecuencia fuertes problemas de inundaciones en las partes bajas

de la cuenca; también en ambos lados del Boulevard de las Naciones y del cuerpo lagunar de Tres Palos y el río La Sabana.

Al igual que las zonas de medio riesgo (gris claro), ya que pueden estar propensas a peligro de inundaciones y a arrastres de corrientes río abajo, ya que éstas pueden suceder cuando se presente un evento extraordinario, como cuando nos “pegó” el huracán Paulina en 1997.

CONCLUSIONES

Es evidente que toda el área de influencia en la parte baja de la cuenca río La Sabana-Laguna de Tres Palos presenta procesos de urbanización acelerados, que en mayor o menor medida han alterado las condiciones naturales originales, lo cual se ve acompañado de la proliferación de asentamientos en zonas de riesgo y que han propiciado necesida-

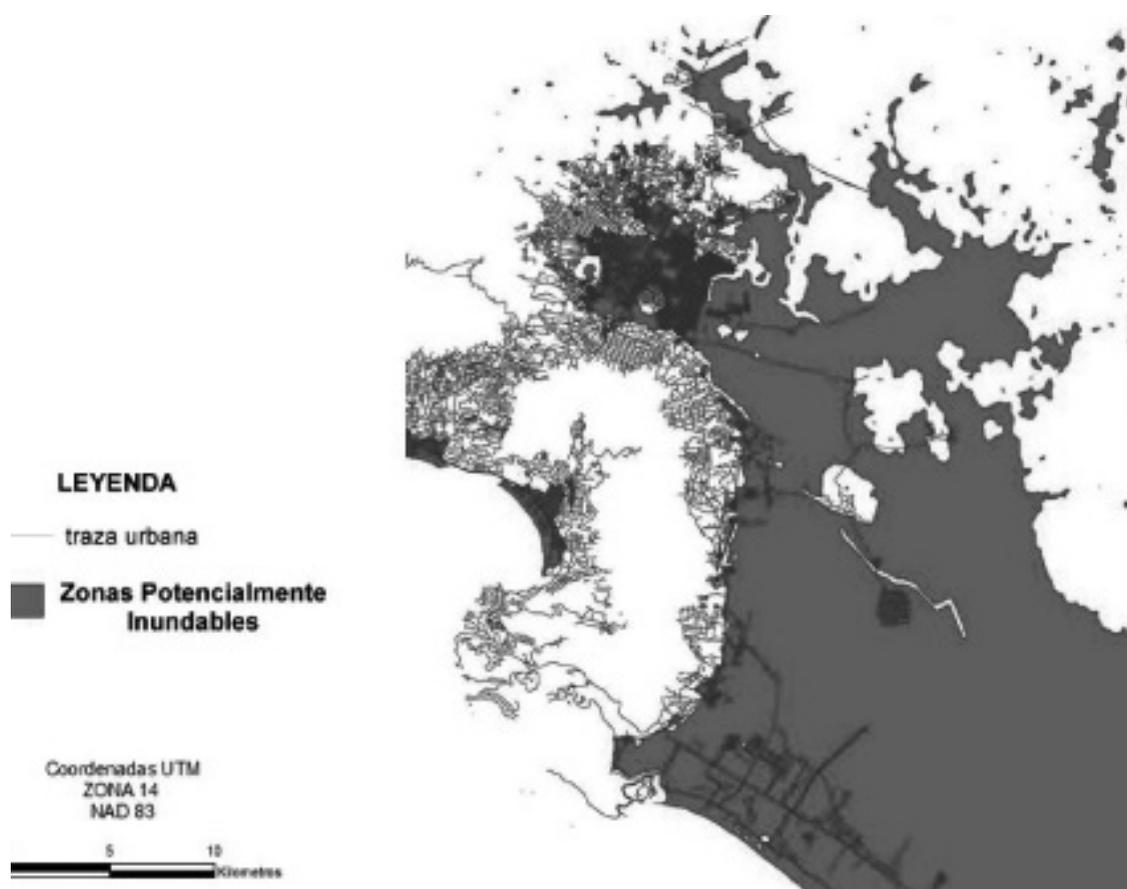


Figura 14. Mapa de riesgo por inundaciones de la parte baja de la cuenca Río La Sabana-Laguna de Tres Palos.

des de infraestructura en drenajes y demás servicios públicos municipales que no han sido satisfechos en su totalidad. De acuerdo a Hernández (2001), los requerimientos de pavimentación son la causa principal del aumento en las tasas de escurrimiento y de la disminución en volúmenes de infiltración y recarga del acuífero, algo característico en la parte baja de esta cuenca y que con base en los resultados obtenidos se confirma en esta investigación.

Es notorio que las condiciones topográficas en toda la parte baja de la cuenca han propiciado construcciones habitacionales costosas en la mayoría de los casos y sobre todo con ausencia notoria de dotación de servicios; esto ha ocasionado que en la mayoría de las veces sean utilizados materiales precarios y sin considerar los riesgos abundantes a los que se encuentran sometidos los habitantes de esta zona. Es evidente que al no contar con los servicios básicos sus descargas residuales no estén conectadas a la red de drenaje municipal y ello ocasiona que las mismas sean vertidas a los cauces y terrenos ociosos.

Geográficamente la mayor parte de la cuenca es una zona con pendientes abruptas, que no permite un drenaje eficiente, por lo que son naturalmente restrictivas para el desarrollo urbano, es decir, se trata de áreas con potencial inundable (zonas de

riesgo en una gran proporción).

Hemos encontrado que existe una palpable deficiencia de drenaje pluvial por falta de capacidad y mantenimiento de los alcantarillados y canales existentes, así como la obstrucción de los mismos, provocada por el vertimiento de residuos sólidos, que limita la capacidad de evacuación de las aguas en las zonas bajas, dando lugar a inundaciones en la época de lluvias intensas y/o fenómenos meteorológicos.

Esta propuesta se constituye como un método para la elaboración de planes y programas de mejoramiento en el ámbito urbano y suburbano de la cuenca, basado en los SIG para el manejo de una mejor toma de decisiones por parte de los gobiernos federal, estatal y municipal; propiciando el diseño de nuevas políticas que, a su vez, permitan aplicar nuevas disposiciones normativas de conservación, mejoramiento, crecimiento y preservación, basadas en los resultados obtenidos y acorde a sus posibilidades, además de contar con este inventario de la infraestructura y servicios públicos con los que se cuenta en la zona de estudio y ya expuestos en los mapas temáticos obtenidos y en la base de datos de los recorridos de campo realizados con su ubicación exacta.

BIBLIOGRAFÍA

Alva, A. (2005). *Catedrático auxiliar, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico*. Mayagüez, PR: Recinto Universitario de Mayagüez, 00681, 57-60.

Burrough, P. A. (1986). "Principles of Geographical Information Systems and Land Resources Assessment". Oxford, England: Clarendon Press, 194.

Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred)(2001). Disponible en: www.proteccion-civil.gob.mx/work/models/.../pepmrd2001-2006.pdf

Grigg, N. S. (1996). *Water Resources Management: Principles, Regulations, and Cases*. New York: McGraw-Hill Book Co., Inc., 104-105.

Hutchinson, C. F., J. Toledano (1993). "Guidelines for Demonstrating Geographical Information Systems Based on Participatory Development". *International Journal of Geographical Information Systems*, 7(5), 453-461.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010). *Carta topográfica E14C57, Acapulco, escala 1:50 000*. CD digital.

----- (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. CD digital.

----- (2010). *Sistema para la Consulta de la Información Censal* (Scince). CD digital.

OPS (1982). "Salud ambiental con posterioridad a los desastres naturales". *Guía de saneamiento en desastres naturales, 1971*, 90-91.

Petróleos Mexicanos (Pemex) (2001). *Sistema Municipal de Protección Civil para la población de Acapulco*, 23.

Silva, G. (2003, julio). *Control de inundaciones*. Bogotá, Colombia; 26-27.

Slocombe, D. S. (1993). "Environmental Planning, Ecosystem Science, and Ecosystem Approaches for Integrating Environment and Development". *Environmental Management*, 17(3), 289-303.

Toscana A., Paulina (2003). "La configuración de un desastre" (Tesis de maestría). México: Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, 66-68.

Cumplimiento del diseño y elaboración del Programa de Protección, Conservación y Manejo (PCYM) de la “Laguna de Zapotlán” sitio Ramsar núm. 1466. Humedal de importancia internacional

J. Guadalupe Michel Parra,¹ Justiniano González González,¹ Oziel Dante Montañez
Valdez,² Manuel Guzmán Arroyo,³ Carlos Gómez Galindo²

RESUMEN

Se cuenta con el diseño y la elaboración al 100% del Programa de Protección, Conservación y Manejo de la “Laguna de Zapotlán”, humedal de importancia internacional, sitio Ramsar núm. 1466. Aprobado por el Comité Estatal de Protección Ambiental de Humedales de Jalisco (CEPAHJ, 2005), así como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), se adoptó, implementó y evaluó el cumplimiento del trabajo sobre los subprogramas de conservación, protección, manejo, restauración, conocimiento, Comunicación, Educación, Concienciación y Participación Pública (Cecop) y gestión. El diseño se realizó bajo el Programa de Protección, Conservación y Manejo (PCYM) del Humedal 2012, los lineamientos nacionales de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y lineamientos de la Convención Ramsar. La toma de datos se realizó con participación de grupos multidisciplinarios e intersectoriales de académicos, gobiernos y productores organizados, usando una metodología de intervención, descriptiva, observacional, ecológica, diagnóstica, productiva y prospectiva.

1 Universidad Autónoma de Guerrero, Universidad de Guadalajara.

2 Centro Universitario del Sur.

3 Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Av. Enrique Arreola Silva núm. 883, Ciudad Guzmán, Jal.
Tel. (341) 575 22 22 ext. 46074; e-mail: michelp@cusur.udg.mx

INTRODUCCIÓN

En la actualidad enfrentamos la problemática a nivel mundial sobre la disyuntiva de la protección de las áreas naturales, entre las que destacan los humedales. Se han implementado diferentes instrumentos como proyectos, programas y planes para la conservación de estas áreas, pero uno de los elementos más importantes, sin lugar a dudas, es el tema del agua, componente que está presente en todos los eventos biológicos de la vida del hombre. “El 70% de la tierra está cubierta de agua, pero solo un 2.5% es agua dulce es disponible, ya que el 97% del agua del planeta es salada y el 70% del agua dulce se ubica en los glaciares y masas de hielo” (Elton, 2007). La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) manifiesta que la población mundial (en el año 2012 ronda 7021 millones de personas) sigue creciendo a un ritmo de 80 millones por año. De ese crecimiento, un 90% nacerá en países en vías de desarrollo, donde hoy en día ya sufren problemas de abastecimiento de agua, como es el caso de México.

Por ello resulta importante y trascendente conocer la situación de los acuíferos de agua dulce, recurso vital para el progreso y desarrollo sostenible de la sociedad. Abordaremos el caso del humedal “Laguna de Zapotlán”, que se ubica en la Subcuenca de Zapotlán, en el sur de Jalisco, entre los municipios de Gómez Farías y Zapotlán el Grande.

Si bien los recursos hídricos son vitales, los humedales juegan un papel fundamental en el ciclo del agua y ofrecen una gran cantidad de bienes y servicios ambientales, además de ser el hábitat para una enorme cantidad de especies de flora y fauna silvestres (Elton, 2007).

El conocimiento sistemático de los humedales de agua dulce epicontinentales y los organismos que en ellos se encuentran y desarrollan constituye el punto de partida de los saberes científicos y técnicos. De este tipo de estudios se pueden derivar recomendaciones para lograr el diseño y la elabo-

ración de programas de PCYM para un aprovechamiento sustentable integral de la “Laguna de Zapotlán”, mediante el uso racional y la aplicación de métodos y técnicas acordes al cumplimiento de los objetivos y metas demandantes, con ecotecnias de bajo impacto ambiental para mejorar la producción y la sustentabilidad, contribuyendo a la preservación de este tipo de recursos naturales (Michel Parra, J. G. *et al.*, 2011).

Los humedales forman parte del Patrimonio de la Humanidad, ya que están ligados a creencias religiosas, cosmológicas, sociales, económicas, culturales y políticas, así como a las primordiales áreas de mayor producción de biomasa, parte fundamental de la cadena trófica alimentaria, y albergan una gran biodiversidad faunística y florística. Además, son zonas donde se desarrollan intensos trabajos productivos y de servicios ambientales, ecoturísticos, de descanso y ocio, y observación de la belleza escénica, y son parte importante de modos y formas de producción ancestrales locales como: recolección, cacería, pesca, artesanías del tule y otros vegetales de importancia alimentaria e industrial (Michel Parra, J. G. *et al.*, 2011).

México, como uno de los cinco países más importantes en megabiodiversidad, está siguiendo lineamientos puntualmente con el afán de proteger, conservar y manejar sustentablemente los ecosistemas (la legislación ambiental es cada vez más precisa y eficaz). Se crean estructuras en la administración pública del gobierno federal y de los estados o se adecuan a las ya existentes, para atender las necesidades derivadas de hacer compatibles el desarrollo socioeconómico y la conservación de los recursos naturales. Se ha incrementado significativamente en los últimos años el interés por las áreas naturales, con énfasis en la protección de los ecosistemas de humedales y la diversidad biológica (Vázquez Morán, V. H., 2009; Amparán, R., 2002; NOM-59-ECOL-2001).

El PCYM de la “Laguna de Zapotlán” puede representar la suma de voluntades y esfuerzo de académicos, alumnos, investigadores, los tres niveles

de gobierno, así como de los usuarios de las concesiones federales de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la sociedad en general, por cumplir con la normatividad establecida y disponer de un instrumento de planeación que enmarque las acciones necesarias para que esta importante área natural, con aproximadamente 30 000 años de existencia, cumpla sus objetivos y metas sociales y ofrezca servicios ambientales, recreativos, económicos, culturales y políticos de calidad total.

El Programa de PCYM es el instrumento sustentado en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, tratados internacionales (por ejemplo: Convención de Humedales y Convención de Diversidad Biológica), leyes federales, leyes estatales, leyes sectoriales, reglamentos y normas oficiales mexicanas, que determinan la planificación y normatividad que rige a cualquier área natural protegida; establecen criterios y acciones de conservación, rehabilitación y restauración de los recursos naturales, a través de un conjunto de acciones específicas, bajo la premisa del desarrollo sustentable y de la participación proactiva de los distintos sectores sociales interesados en la preservación del ecosistema de la “Laguna de Zapotlán” (Abarca, J. F. y M. Herzig 2002; V. H. Vázquez, 2009, Artículo 27 Constitucional, Resolución VIII. 14. Nuevos lineamientos para la planificación de los sitios Ramsar y otros humedales); Convención Ramsar (2012, 2 de febrero). Disponible en: http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_2__ (consulta: septiembre de 2012).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los humedales son parte de los ecosistemas de la tierra más amenazados en la actualidad, con una pérdida acumulada de 6% entre el periodo 1993-2007 (Prigent, C. *et al.*, 2012).

La “Laguna de Zapotlán” es un área natural que presta incalculables servicios ambientales, sociales, económicos, culturales y políticos a la región sur del estado de Jalisco. Aunque se encuentra con amenazas naturales y antropogénicas, la población

en general no cuenta con la información suficiente para poder manifestarse y participar comprometidamente, por lo que la cuenca y el humedal siguen recibiendo acciones negativas como la deforestación de la parte alta de la cuenca, cambios de vocacionamiento del suelo, asentamientos humanos irregulares, rellenos con escombros al vaso lacustre para la formación de plataformas para el servicio de restaurantes y centros botánicos, sobreservidumbres federales no autorizadas, algunos usuarios y visitantes desechan basura y sobre las escorrentías hidrológicas de los arroyos y ríos se encuentran neumáticos, animales muertos, escombros, así como contaminantes agrícolas, pecuarios e industriales y aguas urbanas y pluviales sin tratamiento; las aguas urbanas que se procesan solo tienen tratamiento secundario a base de lodos activados.

El único instrumento para el control de desarrollo urbano, territorial y ecológico es el Plan de Manejo Integral de la zona de la “Laguna de Zapotlán”, elaborado en 1999 por la Universidad de Guadalajara en un intento por generar las condiciones de un progreso y desarrollo equilibrado y sustentable para la “Laguna de Zapotlán”. Si bien fueron elaborados no fueron publicados, a pesar de haber sido aprobados por una sección del cabildo en esa gestión administrativa municipal; sin embargo, han sido utilizados como instrumento para el control del desarrollo urbano, ecológico y territorial. En 2009 se pretendió realizar la actualización de estos instrumentos como una nueva propuesta, que fue el Ordenamiento Ecológico y Territorial de la Subcuenca de Zapotlán, en el cual participan los dos municipios donde se encuentra el humedal, pero fue hasta el año 2012 cuando concluye esta actividad con la consulta pública que se realizó en los meses de junio y julio, la cual se encuentra sujeta a observaciones, para posteriormente ser aprobada y publicada en el Diario Oficial de la Federación (Universidad de Guadalajara, 1995; Ramírez Vázquez, P., 2000; OET, 2001; Michel Parra, J. G., D. Chávez Ch. y J. A. Medina M., 2012).

JUSTIFICACIÓN

En días recientes la revista *Geophysical Research Letters* publicó un estudio realizado de 1993-2007, que señala que en quince años ha disminuido en 6% la superficie de humedales en el mundo. La investigación fue realizada por el Centro Nacional de la Investigación Científica de Francia (CNRS) y el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) (Prigent, C. *et al.*, 2012). Esta investigación descubrió que esta pérdida se ha dado, sobre todo, en regiones tropicales y subtropicales que tienen un alto crecimiento demográfico.

Los humedales son las zonas húmedas más amenazadas en todo el mundo. Estos peligros provienen de acciones naturales y artificiales, destacando hoy en día las antropogénicas, con desarrollos de inmobiliarios, turístico e industrial, la conversión intensiva de la agricultura, ganadería y acuicultura, los cambios hidrológicos artificiales y la explotación excesiva de sus recursos (Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 1973; Malvarez, A. I., 1999; Mitsh, W. J., J. G. Gosselink, Canevari *et al.*, 1999; Mitsh, W. J. y J. G. Gosselink, 2000).

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y elaborar el Programa de Protección, Conservación y Manejo Sustentable del humedal de importancia internacional “Laguna de Zapotlán” sitio Ramsar núm. 1466.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó en la cuenca del Lago de Zapotlán, el cual se localiza en la región sur del estado de Jalisco, entre los municipios de Zapotlán el Grande y Gómez Farías, Jalisco, entre las coordenadas: 19°27'13" de latitud norte y a 103°27'53" de longitud oeste; a una altura de 1506 metros sobre el nivel del mar; con una precipitación pluvial de 732 mm y una temperatura media anual de 20.2 °C, aunque llegan a presentarse temperaturas de 0 °C. El clima se clasifica en (A) c (WO) W (a) (i), según la clasificación de Köpen modificada por Enriqueta

García (1981), siendo éste semicálido.

El presente trabajo se centra en el lago “Laguna de Zapotlán”, localizado en el sur del estado de Jalisco en las coordenadas geográficas 19°35'-19°54' N, 103°25'-103°36' W y coordenadas UTM: X = 660139.98, Y = 2185983.2 y Z = 1499.

El lago se localiza en la cuenca de Zapotlán, la cual tiene una superficie de 499 km², que comprende las porciones territoriales de los municipios de Gómez Farías (65%), Zapotlán el Grande (33%) y pequeñas porciones territoriales (2%) pertenecientes a los municipios de Zapotiltic, Venustiano Carranza y Tuxpan (CEAS, 2004; Montañez V., O., Michel Parra, J. G. y R. Blanco Deniz, 2006; Michel Parra, J. G. *et al.*, 2006 y 2011).

Biogeografía

De acuerdo al Programa de Regiones Hidrológicas Prioritarias de la Conabio, la “Laguna de Zapotlán” pertenece a la Región Hidrológica 58 Chapala-Cajitlán-Sayula-Zapotlán en la región neotropical o americana (Montañez V., O., Michel Parra, J. G. y R. Blanco Deniz, 2006). La precipitación anual es de 812.7 mm en promedio. La “Laguna de Zapotlán” tiene una capacidad promedio de 27 000 000 m³ y una evaporación anual de 17 800 000 m³, mientras que el área del lago es de 1340 hectáreas en promedio (4 kilómetros de largo por 3 kilómetros de ancho) (Estrada, F. E., 1983; INEGI, 1991; CNA, 2004; Michel Parra, J. G. *et al.*, 2006 y 2011).

El presente trabajo se desarrolla con inversión de los gobiernos federal, del estado de Jalisco (Semarnat, Conanp, Seder, CEAS y Semades), ayuntamiento municipal de Gómez Farías y de Zapotlán el Grande, Sociedad Cooperativa Pesquera “Pesqueros de Gómez Farías” y Centro Universitario del Sur, a través del Departamento de Desarrollo Regional y la Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional, Doctorado en Ciencias Ambientales. El presente trabajo se realizó de octubre de 2012 a febrero de 2013.

PROCEDIMIENTO

El presente trabajo es de intervención, donde se diseñó y elaboró el Programa de PCYM del Humedal bajo los lineamientos nacionales e internacionales de la Convención Ramsar para humedales, caso “Laguna de Zapotlán”, Convención Ramsar, 2 de febrero de 2012. Disponible en: http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_2__ (consulta: septiembre de 2012).

La Conanp cuenta con términos de referencia específicos para la elaboración de programas de conservación y manejo, que se fundamentan en el contenido estipulado en la LGEEPA.

Los contenidos del Programa de PCYM están basados en los siguientes puntos:

- Descripción de las características físicas, biológicas, sociales y culturales del área en el contexto nacional, regional y local.
- Las acciones a realizar a corto, mediano y largo plazos, entre otras:
 - ✓ Investigación y educación ambiental.
 - ✓ Protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
 - ✓ Financiamiento para la administración del área.
 - ✓ Prevención y control de contingencias.
 - ✓ Vigilancia.
 - ✓ Las demás que el área natural requiera por sus características.
- Organización de la administración del área y mecanismos de coordinación y participación social.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Normatividad vigente aplicable a las actividades que se desarrollan en el área.
- Inventarios biológicos existentes y los que se realizarán a futuro.
- Reglas de carácter administrativo a las que se sujetarán las actividades que se desarrollen en el área.

Con los siguientes subprogramas:

1. Subprograma de Protección.
2. Subprograma de Conservación.
3. Subprograma de Manejo.
4. Subprograma de Restauración.
5. Subprograma de Conocimiento.
6. Subprograma Comunicación, Educación, Concienciación y Participación Pública (Cecop).
7. Subprograma de Gestión.

Cada subprograma opera con objetivos, componentes, metas, actividades y acciones para ser manejados con indicadores ambientales, sociales, económicos e institucionales (INEGI, 2000).

Los indicadores nos permiten conocer los avances o retrocesos obtenidos y son susceptibles de medirse con indicadores (actividades y acciones) como: vigilancia, prevención y combate de incendios, preservación e integridad de áreas frágiles, protección contra especies invasoras, fauna, flora, mitigación al cambio climático, etcétera.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En México no existe dentro de la Constitución Política un apartado o régimen especial que contemple la regulación sobre la conservación y aprovechamiento sustentable de los humedales.

Su uso, aprovechamiento y conservación se regula con base en diversas leyes, reglamentos y normas aplicables de manera específica o indirecta, considerando su carácter de zonas federales, bienes nacionales o por la presencia de especies de flora y fauna en riesgo.

El marco legal aplicable a los humedales se fundamenta en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, tratados internacionales (Convención de Humedales y Convención de Diversidad Biológica), leyes federales de México: Ley de Aguas Nacionales, Ley General de Bienes Nacionales, Ley Federal del Mar, Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Ley General de Vida Silvestre, Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, así como otras leyes

sectoriales, reglamentos y normas oficiales mexicanas.

Asimismo, la Constitución Política de México en sus artículos 27°, 73° y 133° da sustento legal a la Semarnat y a través de la Conanp administra y maneja las Áreas Naturales Protegidas (ANP). La Semarnat es la autoridad administrativa que da cumplimiento a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971). La Conanp es responsable de dar el seguimiento a la aplicación de este acuerdo internacional-multilateral, particularmente en los lugares inscritos en la Lista de sitios Ramsar, así como los gobiernos de estados, municipios y usuarios de dichas áreas.

El CEPAHJ (2005) es un organismo intersectorial que trabaja bajo el principio de buena voluntad entre sus integrantes y tiene como objetivo “Coordinar los esfuerzos de las áreas públicas involucradas para la conformación de agendas de trabajo que permitan coadyuvar en la protección, conservación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas acuáticos conocidos como humedales”.

Está conformado por la Semades, Seder y CEAS. En calidad de vocalías concurren la Semarnat Delegación Jalisco, la Universidad de Guadalajara, a través del CUCBA y el CU Sur, así como también la Sociedad para la Investigación y Aprovechamiento de la Fauna Silvestre (Siafase). En calidad de invitados están el H. Ayuntamiento de Villa Corona, Jalisco, y la Asociación Civil Salvemos el Lago.

El diseño se elaboró bajo el Programa de PCYM del Humedal 2012, bajo los lineamientos nacionales de la LGEEPA y la Convención Ramsar para humedales, caso “Laguna de Zapotlán”. La toma de datos se realizó con participación de grupos multidisciplinarios e intersectoriales de académicos, gobiernos y productores organizados, usando una metodología de intervención, descriptiva, observacional, ecológica, diagnóstica, productiva y prospectiva. Cada subprograma operará con objetivos, componentes, metas, actividades y acciones para ser manejados con indicadores ambientales, sociales, económicos e institucionales, lo cual permiti-

rá conocer los avances o retrocesos obtenidos y si son susceptibles de medir su eficiencia y eficacia para conocer sus avances y retrocesos y dar cumplimiento a las políticas locales, nacionales e internacionales.

El Programa de PCYM debe ser entendido como el documento rector y de planeación, que establece acciones mediante las cuales se pretenden alcanzar los objetivos del Subprograma de Conservación de los Ecosistemas y su Biodiversidad; se debe apoyar en la gestión, investigación y difusión que realizan los programas gubernamentales federales, estatales, municipales y del Comité Intersectorial de Humedales de Jalisco. Las acciones se establecen con base en el diagnóstico de la situación actual de los ecosistemas, su biodiversidad y la problemática socioeconómica existente, que tiene como fin generar un proceso de desarrollo integral y sustentable de la “Laguna de Zapotlán”.

Contiene las acciones que evitan y/o previenen el cambio por actividades humanas, así como también aquellas que promueven el mantenimiento de la biodiversidad dentro de los lineamientos de sustentabilidad establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo, el Acuerdo Nacional para el Manejo Productivo del Nivel de Vida y el Programa Nacional del Medio Ambiente.

El presente Programa de PCYM se desarrolla en diferentes subprogramas, donde cada uno está conformado por componentes a los que se les definen objetivos, metas, actividades y acciones específicas; asimismo, se presenta el cronograma de actividades, en donde se establecen los plazos de ejecución de cada acción. En muchos casos las acciones de un componente son complementarias a las de otros.

Los contenidos se integran en seis subprogramas de conservación:

- a) Protección.
- b) Manejo.
- c) Restauración.
- d) Conocimiento.

- e) Cultura.
- f) Gestión.

Los plazos para dar cumplimiento a las acciones son:

Clave	Plazo
C	Corto: 1 a 2 años
M	Mediano: 3 a 4 años
L	Largo: 5 años
P	Permanente

Las actividades tienen una fecha específica de inicio y así se convierten en parte de la operación cotidiana.

En este sentido, el Programa de PCYM establece criterios y acciones de conservación, rehabilitación y restauración de los recursos naturales, a través de acciones que integran aspectos normativos, administrativos, de investigación, ecoturismo, capacitación y divulgación, entre otros, bajo la premisa del desarrollo sustentable y de participación de los distintos sectores que tienen interés sobre el Humedal “Laguna de Zapotlán”.

METAS Y RESULTADOS ESPERADOS

- Reducir en 80% el número de ilícitos ambientales en los próximos cinco años.
- Contar con la presencia permanente de, al menos, un cuerpo de seguridad pública en forma coordinada de los dos municipios.
- Establecer la coordinación interinstitucional necesaria para hacer eficientes las acciones de vigilancia.
- Contar con cuatro guardias profesionales y capacitados.
- Formar cuatro comités de vigilancia participativa acreditados por la Profepa en los próximos cinco años.

ACTIVIDADES* Y ACCIONES

<i>Elaborar y dar seguimiento a un programa de inspección y vigilancia.</i>
Identificar sitios clave y de atención prioritaria, así como establecer un control de accesos para la prevención y atención de ilícitos.
Construir y rehabilitar la infraestructura necesaria para la vigilancia dentro del humedal y su polígono de protección.
<i>Estructurar un programa de señalización informativa, restrictiva y prohibitiva del humedal.</i>
Elaborar la señalización informativa, restrictiva y prohibitiva del humedal.
Difundir el Reglamento Administrativo del Humedal a todos sus usuarios.
Establecer los mecanismos y estrategias de coordinación interinstitucional con la Profepa, PGR y policías estatales para la inspección y vigilancia dentro del polígono del humedal.
<i>Elaborar instrumentos de protección y vigilancia de los recursos naturales en esta materia.</i>
Desarrollar un programa de capacitación para el personal del humedal en materia de legislación ambiental para actividades de inspección y vigilancia.
Instaurar un Subprograma de Vigilancia, que incluya la formación de comités, operativos, recorridos sistemáticos, inspecciones, verificaciones y sitios de atención de quejas.
Establecer procedimientos ágiles para la recepción, gestión y seguimiento de denuncias de ilícitos ante las instancias correspondientes (Profepa, PGR y otras).
Conformar un cuerpo de guardias del humedal profesionales.
Promover y coordinar la formación de comités comunitarios de vigilancia con la participación de la Profepa.

Con el fin de tener criterios comparables para todos los sitios Ramsar, se muestra el equivalente de estas áreas en la tabla correspondiente a las zonas y subzonas especificadas para ANP en la LGEEPA (cuadro 1):

- Zona de protección.
- Zona de recuperación.
- Zona de uso tradicional.
- Zona de uso y aprovechamiento sustentable.
- Zona de uso intensivo.
- Zona de influencia.

Como instrumento de la política ambiental, la zonificación de manejo requiere para su implementación de un promedio específico de gestión social, que especialmente en el medio rural debe ir mucho más allá de la consulta de una propuesta científico-técnica. El Programa de PCYM del sitio Ramsar “Laguna de Zapotlán” implica una perspectiva de carácter regional, que se manifiesta a través del plano de zonificación para el manejo de la laguna (figura 1).

Uno de los primeros pasos para lograr ese objetivo, se refiere a la correcta ubicación de los procesos en las escalas de espacio y tiempo, primordialmente porque los sujetos sociales que actúan en cada uno de ellos son distintos y su nivel de

injerencia y toma de decisiones también (Ordenamiento Ecológico Territorial [OET] de la Cuenca de Zapotlán [en revisión, 2012]).

La zonificación debe reconocer con claridad esta estructuración vertical y horizontal de las políticas de manejo y aprovechamiento del agua y suelo, que permita y aliente la planeación participativa, la cual se debe establecer como fórmula para articular la discusión de todos los actores y lograr una definición de unidades del paisaje, posibilitando la inclusión temática y espacial de los procesos y políticas desde la escala regional, pasando por la comunitaria y llegando hasta las unidades de producción pesquera, artesanal, agrícola, ganadera, turística y deportiva.

Cuadro 1. Criterio de zonificación para los sitios Ramsar y sus equivalentes para ANP en la LGEEPA.

ZONAS PARA HUMEDALES	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES	SUBZONA SEGÚN LGEEPA N - núcleo, A - amortiguamiento
Protección	Aquellas superficies en buen estado de conservación que pueden contener ecosistemas relevantes o frágiles, o fenómenos naturales relevantes, donde se busca mantener las condiciones actuales de los ecosistemas y hábitats en las que el desarrollo de actividades requiere un manejo específico para lograr su adecuada preservación.	Sólo se permitirán la investigación científica y el monitoreo del ambiente, así como las actividades de educación ambiental y turismo de bajo impacto ambiental que no impliquen modificaciones de las características o condiciones naturales originales. Excepcionalmente se permitirá la construcción de instalaciones de apoyo, exclusivamente para la investigación científica o el monitoreo del ambiente.	Na. De protección Nb. De uso restringido Aa. De preservación
De recuperación	Sitios donde los recursos naturales han resultado dañados o modificados podrán ser objeto de recuperación y rehabilitación para mejorar sus condiciones.	Se utilizarán técnicas de rehabilitación y restauración que no constituyan modificaciones sustantivas en el ecosistema. Deberán utilizarse preferentemente para su rehabilitación especies nativas de la región. Se podrán realizar investigación y monitoreo y excepcionalmente actividades de aprovechamiento que no modifiquen los ecosistemas y sujetas a estrictas medidas de control.	Ah. De recuperación

ZONAS PARA HUMEDALES	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES	SUBZONA SEGÚN LGEEPA N - núcleo, A - amortiguamiento
De uso tradicional	<p>Aquellas superficies en donde los recursos naturales han sido aprovechados de manera tradicional y continua, sin ocasionar alteraciones significativas en el ecosistema o en las poblaciones. Están relacionadas particularmente con la satisfacción de las necesidades socioeconómicas y culturales de los habitantes del humedal y sus alrededores.</p> <p>Aquellas superficies que presentan atractivos naturales para la realización de actividades de recreación y esparcimiento.</p>	<p>En éstas no podrán realizarse actividades que amenacen o perturben la estructura natural de las poblaciones y ecosistemas o los mecanismos propios para su recuperación. Se podrán llevar a cabo actividades de investigación científica, educación ambiental y de turismo de bajo impacto ambiental, así como la infraestructura de apoyo que se requiera, utilizando ecotecnias y materiales tradicionales de construcción propios de la región, aprovechamiento de los recursos naturales para la satisfacción de las necesidades económicas básicas y de autoconsumo de los pobladores, utilizando métodos tradicionales enfocados a la sustentabilidad, conforme lo previsto en las disposiciones legales y reglamentarias aplicables (OET de la Cuenca de Zapotlán).</p>	Ab. De uso tradicional
De uso y aprovechamiento sustentable	<p>Aquellas superficies en las que los recursos naturales pueden ser aprovechados y que, por motivos de uso y conservación de sus ecosistemas a largo plazo, es necesario que todas las actividades productivas se efectúen bajo esquemas de aprovechamiento sustentable.</p> <p>Aquellas superficies que presentan atractivos naturales para la realización de actividades de recreación y esparcimiento, en donde es posible mantener concentraciones de visitantes, en los límites que se determinen con base en la capacidad de carga de los ecosistemas para no alterar el ambiente.</p>	<p>Se permitirán el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales renovables, siempre que estas acciones generen beneficios preferentemente para los pobladores locales, así como la investigación científica, la educación ambiental y el desarrollo de actividades turísticas de bajo impacto ambiental.</p> <p>Asimismo, el aprovechamiento sustentable de la vida silvestre podrá llevarse a cabo siempre y cuando se mantengan o incrementen las poblaciones de las especies aprovechadas y el hábitat del que dependen; y se sustenten en los planes correspondientes autorizados por la Secretaría conforme a las disposiciones legales y reglamentarias aplicables.</p> <p>Se podrán realizar actividades pesqueras, artesanales, agrícolas, pecuarias y ecoturísticas de baja intensidad, que se lleven a cabo en predios que cuenten con aptitud para este fin, y en aquellos en que dichas actividades se lleven a cabo de manera cotidiana, y actividades de agroforestería y silvopastoriles, siempre y cuando sean compatibles con las acciones de conservación del área, y que contribuyan al control de la erosión y eviten la degradación de los suelos.</p> <p>Las prácticas agrícolas y pecuarias deberán orientarse hacia la sustentabilidad y evitar el uso de agroquímicos e insumos externos para su realización.</p>	<p>Ac. De aprov. sust. Rec. nat</p> <p>Ad. De aprov. Sustentable Ecosistemas</p> <p>Af. De uso público</p> <p>Turismo de bajo impacto ambiental</p>

ZONAS PARA HUMEDALES	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES	SUBZONA SEGÚN LGEEPA N - núcleo, A - amortiguamiento
De uso intensivo	Son aquellas superficies donde se ha llevado a cabo una modificación sustancial o desaparición de los ecosistemas originales, debido al desarrollo de asentamientos humanos, actividades extractivas y productivas, infraestructura turística o instalaciones especiales, previas a la designación del humedal o declaratoria de área protegida.	<p>Hay infraestructura de unidades de producción agropecuaria y servicios comerciales (restaurantes), deportivos y recreativos, que se encuentran asentadas previas a la declaratoria de área protegida o designación del humedal.</p> <p>Se podrá llevar a cabo exclusivamente la construcción de instalaciones para el desarrollo de servicios de apoyo al turismo, la investigación y monitoreo del ambiente, y la educación ambiental, congruentes con los propósitos de protección y manejo de cada área natural protegida.</p> <p>Solo se podrán ejecutar obras públicas o privadas para la instalación de infraestructura o explotación de recursos naturales, que generen beneficios públicos, que guarden armonía con el paisaje, que no provoquen desequilibrio ecológico grave y que estén sujetos a estrictas regulaciones de uso sustentable de los recursos naturales.</p>	<p>Ag. De asentamientos humanos</p> <p>Af. De uso público Infraestructura turística</p> <p>Ae. De aprov. especial</p>
De influencia I y II	Se ubican fuera del polígono del sitio Ramsar. Son las zonas adyacentes que tienen influencia en el humedal y que, por lo general, están dedicadas a múltiples usos. Abarcan el entorno de la cuenca hidrológica de Zapotlán.	Se pueden encontrar todo tipo de actividades, desde la agricultura y ganadería tradicionales hasta la tecnificada, la producción forestal, los asentamientos humanos y las diversas industrias de la transformación, las cuales se tendrán que sujetar a las Unidades de Gestiones Ambientales (UGA), que son parte del Programa de OET de la Cuenca de la Laguna de Zapotlán, que tienen efectos sobre el humedal.	

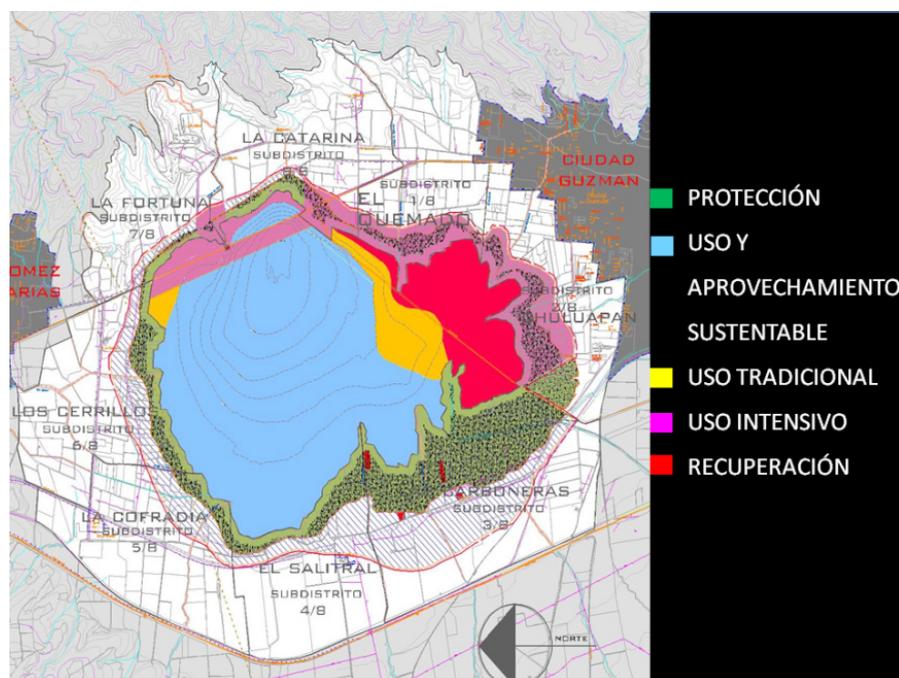


Figura 1. Zonas para usos del humedal.

Se puede resumir que la metodología aplicada para la zonificación del manejo y el análisis de las unidades del humedal aquí considerada, se realizó con base en la definición de los usos del suelo actuales, potenciales y alternativos, y se estableció una matriz de análisis de aptitud con base en los criterios e indicadores definidos en cada uno de los aspectos físicos, biológicos y socioeconómicos adoptados y utilizados. En total se definieron seis usos del suelo generales agrupados en cuatro grandes políticas de manejo.

Finalmente, para cada política de manejo y cada uso del suelo se definió una serie de normas de uso orientadas a prever los impactos ambientales no deseados e impulsar la reorientación ambiental y tecnológica de los sistemas de producción con base en el OET de la Subcuenca de Zapotlán, documento que actualmente está aprobado en consulta pública (junio de 2012) y se han realizado las observaciones para su publicación en el Diario Oficial del Estado de Jalisco para 2013.

CONCLUSIONES

Se cuenta con un programa operativo consensuado de PCYM del humedal “Laguna de Zapotlán”, aprobado por las instancias gubernamentales, sociales y académicas miembros del CEPAHJ. Se tienen siete subprogramas con sus respectivos objetivos, componentes, metas, actividades y acciones con cierto grado de cumplimiento por los recursos asignados, evaluados por los indicadores específicos.

LITERATURA CITADA

Abarca, J. F. (2002). “Capítulo I: Definición e importancia de los humedales”. *Manual para el manejo y conservación de los humedales en México*. 3ª edición. México, 34 pp.

Abarca, J. F., M. Herzig (2002). *Manual para el manejo y conservación de los humedales en México*. 3ª edición. México.

Amparán, R. (2002). “El papel de la comunidad de aves acuáticas en el manejo y protección del Lago de Zapotlán, Jalisco, México”. *2º Taller Internacional sobre Rehabilitación del Lago de Zapotlán y cuenca*. CD-ROM.

Artículo 27º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2012).

Comisión Estatal de Agua y Saneamiento (CEAS) del gobierno del estado de Jalisco (2004). *Plan Maestro sobre el Equilibrio Hidrológico de la Laguna de Zapotlán*. Guadalajara, Jal., México.

Comisión Nacional del Agua (CNA) (2004). (Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico, 2004). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Ciudad Guzmán, Jalisco*. Guadalajara, Jal., México.

Elton Benhumea, Alberto (2009). “La importancia de los sitios Ramsar en el occidente de México”. *I y II Congreso Internacional de Humedales Laguna de Zapotlán y 7º y 8º Curso-Taller de Rehabilitación Laguna de Zapotlán y su cuenca*. Ciudad Guzmán, Jal. 8-10 de octubre de 2007. Libro electrónico.

García, E. (1981). *Modificación a la clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía de la UNAM.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2000). *Indicadores de desarrollo sustentable en México*. Aguascalientes, Ags.: Ed. INEGI, 203 pp.

Malvarez, A. I. (1999). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*. Montevideo, Uruguay © Unesco: impreso por la

Oficina Regional de Ciencia y Tecnología (ORCYT) de la Unesco para América Latina y el Caribe.

Michel Parra, J. G., A. M. Guzmán, G. Rocha Ch., T. N. Covarrubias, A. L. Íñiguez Ch., G. González G. (2006). “Lago de Zapotlán: humedal de importancia internacional sitio Ramsar”. *Lago de Zapotlán-Laguna de Zapotlán-sitio Ramsar*. 1ª edición. Universidad de Guadalajara (Imprenta), 27-39.

Michel Parra, J. G., D. O. Montañez V., A. M. Guzmán, A. J. Mercado, T. N. Covarrubias (2011). *Lago de Zapotlán-Laguna de Zapotlán-sitio Ramsar*. 2ª edición. Universidad de Guadalajara (Imprenta), 240 pp.

Michel Parra, J. G., D. Chávez Ch., J. A. Medina M. (2012). “Situación del Plan de Ordenamiento Ecológico de la Subcuenca Laguna de Zapotlán”. *Recursos naturales y contaminación ambiental*. 1ª edición. Mochicahi, El Fuerte, Sin.: Universidad Autónoma Indígena de México (Imprenta), 143-156.

Mitsh, W. J., J. G. Gosselink (2000). *Wetlands*. 3rd edition. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Mitsh, W. J., J. G. Gosselink, Canevari *et al.* (1999). *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*.

Montañez V., Oziel, J. G. Michel Parra, R. Blanco Deniz (2006). “Ubicación y biogeografía de la Laguna de Zapotlán”. *Lago de Zapotlán-Laguna de Zapotlán-Sitio Ramsar*. 1ª edición. Universidad de Guadalajara (Imprenta), 15-25.

NOM-059-ECOL-2001. “Norma Oficial Mexicana que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección”. *Diario Oficial de la Federación*, miércoles 6 de marzo de 2002, segunda sección, 1-78.

Ordenamiento Ecológico Territorial (OET)-Jalisco-Semades (2001). *Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco*. Gobierno de Jalisco.

Plan Parcial de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente de la Laguna (2001). Documento consensuado con la sociedad y aprobado por el cabildo/H. ayuntamiento/Centro de Investigación del Medio Ambiente y Ordenamiento del Territorio de la Universidad de Guadalajara.

Prigent, C., F. Papa, F. Aires, C. Jiménez, W. B. Rossow, E. Matthews (2012). “Changes in Land Surface Water Dynamics since the 1990s and Relation to Population Pressure”. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L08403.

Ramírez Vázquez, Pedro (2000). *Plan Parcial para el Desarrollo Integral de la Zona de la Laguna* (incorpora planteamientos presentados en el Plan Urbano de Zapotlán 2020). Ciudad Guzmán, Jal., México.

Universidad de Guadalajara (1995). *Estudio base al ordenamiento ecológico de la cuenca de la Laguna de Zapotlán*. Ciudad Guzmán, Jal., México.

Vázquez Morán, Víctor Hugo (2009). “Programas de manejo de áreas naturales protegidas y sitios Ramsar”. *I y II Congreso Internacional de Humedales Laguna de Zapotlán y 7º y 8º Curso-Taller de Rehabilitación de la Laguna de Zapotlán y su cuenca*. 7-8 y 10 de octubre de 2007. Ciudad Guzmán, Jal. Libro electrónico. Página de internet de la Convención Ramsar. Disponible en: http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-home/main/ramsar/1_4000_2__

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.

