

RECURSOS NATURALES Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Libros Técnicos: Serie Ciencias Ambientales

COORDINADORES:
Rosa Martínez Ruiz
Benito Ramírez Valverde
Gustavo Enrique Rojo Martínez





Rosa Martínez Ruiz

Doctora en Ciencias en Biotecnología Forestal por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México. Maestra en Ciencias en Ciencias Forestales por la Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniera Agrícola especialista en Agroecosistemas por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora Investigadora en el Programa Forestal y Desarrollo Sustentable de la Universidad Autónoma Indígena de México. Perfil Deseable del PROMEP-SEP. Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos. Subdirectora de la revista Ra Ximhai de la UAIM . Coordinadora Nacional de la Red de Biotecnología de la FAO. Correo electrónico: ruizrosa@uaim.edu.mx



Benito Ramírez Valverde

Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias en Estadística, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. Maestría en Estudios Latinoamericanos, Tulane University, Nueva Orleans, Estados Unidos. Ph. D. en Estudios Latinoamericanos, Tulane University, Nueva Orleans, Estados Unidos. Profesor Investigador del Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II. Director de la Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo del Colegio de Postgraduados. Correo electrónico: bramirez@colpos.mx. bramirez@colpos.mx.



uaim
10 Aniversario

DIRECTORIO DE LA UAIM

M. en C. Guadalupe Camargo Orduño
Rector

Dra. Rosa Martínez Ruiz
Secretaria General

Lic. Mario Antonio Flores Flores
Coordinador General Educativo

Lic. Fermín Barreras Sánchez
Coordinador General Administrativo

M. en C. Manuel López Armenta
Coordinador General de Desarrollo Institucional

Dr. Gustavo Enrique Rojo Martínez
Coordinador General de Investigación y Postgrado

Lic. Cesar Alejandro Marcial Liparoli
Abogado General

Ernesto Ochoa Trujillo
Contralor Interno

M. en E. S. María Soledad Angulo Aguilazoch
Coordinadora General Unidad Mochicahui

M. en C. Marina E. Vega Pimentel
Coordinadora General Unidad Los Mochis

Ing. José Alonso Ayala Zúñiga
Coordinador General Unidad Choix

RECURSOS NATURALES Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

1ª edición, México, 2012.

D.R.© Rosa Martínez Ruiz, Benito Ramírez-Valverde, Gustavo E. Rojo Martínez, Humberto Vaquera Huerta, Alejandro Iván Aguirre Salado, Oscar A. Viramontes Olivas, Víctor Manuel Gómez Reyes, Toutcha Lebgue Keleng, Ricardo A. Soto Cruz, González M. M. B., García G. C., Hugo Humberto Piña Ruiz, Salvador Martín Medina Torres, Estuardo Lara Ponce, Cecilio Jiménez Romero, Aurora Breceda Solís Cámara, Guadalupe Michel Parra, David Chávez Chávez, J. Alejandro Medina Magallán, Naú Silverio Niño Gutiérrez, Jean Francois Parrot, Javier Delgadillo Macías, Franklin Rivera Pineda, José Pedro Juárez Sánchez, Beatriz Pérez Armendáriz, Néstor Estrella Chulim, Francisco Escobedo Castillo, Gustavo Ramírez Valverde, Jorge Javier Ramírez García; Arturo Colín Cruz, Requena Pavón G.C., Agraz Hernández, Vazquez Botello, Osti Saénz, J. Reyes Castellanos, Chan Keb C., García Zaragoza C., Chan Canul, J. Guadalupe Michel Parra, David Chávez Chávez, J. Alejandro Medina Magallán, Ana Lizeth Iñiguez Chávez, José Raúl Jiménez Botello, Juana Sánchez Alarcón, José Luis Gómez Olivares, Stefan M. Waliszewki, José M.R., Montiel González, J. Antonio Guevara García, Rafael Valencia Quintana, Eduardo Andrés Sandoval Forero, María Guadalupe Ibarra Ceceña, Álvarez G. T. B., Hurtado V. S., Oyoque S. G., Mena V. H. G., Angoa P. M. V., Travieso Bello A. C., Welsh R. C. M., Bocardo V. A., Ochoa M. C., Sandoval Villasana A.M., Hernández Romano J., Cervantes Dacasa F.R., Medrano Vaca M.G., González Sánchez A., José Antonio Santiago Lastra, Miriam López Carmona, Mari Sandra Espinoza Guzmán, María Elena Moshán Álvarez, Juan Gabriel Gómez Hernández, y Erasmo Miranda Bojórquez.

Diseño de portada: Norma Adilene Leyva Rojo y Gustavo E. Rojo Martínez.

ISBN: 933-432-987-0

Los artículos del presente libro fueron
dictaminados por el sistema de pares ciegos.

Impreso y hecho en México.

Printed and made in México.

Publicado por:

Universidad Autónoma Indígena de México.

Coordinación General de Investigación y Postgrado.

Benito Juárez # 39, C. P. 81890.

Tels. (698) 89 2 12 06.

Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa.

www.uaim.edu.mx

Este libro no puede ser fotocopiado ni reproducido total o parcialmente por ningún otro medio o método sin la autorización por escrito de los editores.

RECURSOS NATURALES Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Coordinadores

Rosa Martínez Ruiz
Benito Ramírez-Valverde
Gustavo E. Rojo Martínez



Cuerpo Académico Desarrollo Sustentable
Universidad Autónoma Indígena de México



uaim
10 Aniversario



RECURSOS NATURALES Y CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Coordinadores

Rosa Martínez Ruiz
Gustavo E. Rojo Martínez
UAIM

Benito Ramírez-Valverde
Colegio de Postgraduados Campus
Puebla

Autores

Rosa Martínez Ruiz, Benito Ramírez Valverde, Gustavo E. Rojo Martínez, Humberto Vaquera Huerta, Alejandro Ivín Aguirre Salado, Oscar A. Viramontes Olivas, Víctor Manuel Gómez Reyes, Toutcha Lebgue Keleng, Ricardo A. Soto Cruz, González M. M. B., García G. C., Hugo Humberto Piña Ruiz, Salvador Martín Medina Torres, Estuardo Lara Ponce, Cecilio Jiménez Romero, Aurora Breceda Solís Cámara, Guadalupe Michel Parra, David Chavez Chavez, J. Alejandro Medina Magallan, Naú Silverio Niño Gutiérrez, Jean Francois Parrot, Javier Delgadillo Macías, Franklin Rivera Pineda, José Pedro Juárez Sánchez, Beatriz Pérez Armendáriz, Néstor Estrella Chulim, Francisco Escobedo Castillo, Gustavo Ramírez Valverde, Jorge Javier Ramírez García; Arturo Colín Cruz, Requena Pavón G.C., Agraz Hernández, Vazquez Botello, Osti Saéñz, J. Reyes Castellanos, Chan Keb C., García Zaragoza C., Chan Canul, J. Guadalupe Michel Parra, David Chávez Chávez, J. Alejandro Medina Magallán, Ana Lizeth Iñiguez Chávez, José Raúl Jiménez Botello, Juana Sánchez Alarcón, José Luis Gómez Olivares, Stefan M. Waliszewki, José M.R. Montiel González, J. Antonio Guevara García, Rafael Valencia Quintana, Eduardo Andrés Sandoval Forero, Guadalupe Ibarra Ceceña, Álvarez G. T. B., Hurtado V. S., Oyoque S. G., Mena V. H. G., Angoa P. M. V., Travieso Bello A. C., Welsh R. C. M., Bocardo V. A., Ochoa M. C., Sandoval Villasana A.M., Hernández Romano J., Cervantes Dacasa F.R., Medrano Vaca M.G., González Sánchez A., José Antonio Santiago Lastra, Miriam López Carmona, Mari Sandra Espinoza Guzmán, María Elena Moshán Álvarez, Juan Gabriel Gómez Hernández, González R., Marín L.E., Dévora G.E., Fonseca M. y Erasmo Miranda Bojórquez.

CONTENIDO

Págs.

AGUA Y SUELO

MODELACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS Y ESTIMACIÓN DE RIEGOS DE INUNDACIÓN EN EL ESTADO DE TABASCO

Humberto Vaquera Huerta y Alejandro Iván Aguirre Salado..... 1

RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA COSTA VERACRUZANA

Travieso Bello A. C., Welsh R. C. M., Bocardo V. A. y Ochoa M. C..... 27

FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CUENCAS Y HERRAMIENTAS PARA LA CONSERVACIÓN

Oscar A. Viramontes Olivas, Víctor Manuel Gómez Reyes, Toutcha Lebgue Keleng y Ricardo A. Soto Cruz..... 35

CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL, BALANCE HÍDRICO Y CONFLICTOS SOCIALES POR DERECHOS DE AGUA ENTRE USUARIOS DE LAS CUENCAS DEL RÍO YAQUI Y DEL RÍO SONORA, EN EL NOROESTE DE MÉXICO

González R., Marín L.E., Dévora G.E. y Fonseca M..... 63

SISTEMAS PRODUCTIVOS

BACTERIAS ENTOMOPATÓGENAS CON POTENCIAL PARA EL CONTROL DE PLAGAS AGRÍCOLAS EN DURANGO

González M. M. y B. García G. C..... 83

ACTIVIDAD BIOCONTROLADORA DE BACTERIAS NATIVAS vs EL HONGO FITOPATÓGENO *Botrytis cinerea* EN FRUTOS DE FRESA

Álvarez G. T. B., Hurtado V. S., Oyoque S. G., Mena V. H. G. y Angoa P. M. V..... 91

FAUNA

ABUNDANCIA, DIVERSIDAD Y USO DE HÁBITAT DE AVES RAPACES DIURNAS EN EL NORTE DE SINALOA

Salvador M. Medina Torres, Gustavo E. Rojo Martínez, Rosa Martínez Ruiz, Hugo Humberto Piña Ruiz y Estuardo Lara Ponce..... 99

EFFECTO DE CERDOS ASILVESTRADOS (*Sus scrofa cinerea*) EN EL BOSQUE DE PINO-ENCINO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA “SIERRA LA LAGUNA” B. C. S, MÉXICO

Cecilio Jiménez Romero, Aurora Breceda Solís Cámara, Gustavo Enrique Rojo Martínez, Rosa Martínez Ruiz y Salvador Martín Medina Torres..... 117

PLANEACIÓN DE RECURSOS

SITUACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DE LA SUBCUENCA LAGUNA DE ZAPOTLÁN

J. Guadalupe Michel Parra, David Chávez Chávez y J. Alejandro Medina Magallán..... 143

DIAGNÓSTICO SOCIO-ECONÓMICO Y AMBIENTAL EN LA ISLA ROQUETA, ACAPULCO, GUERRERO, MÉXICO

Naú Silverio Niño Gutiérrez, Jean Francois Parrot y Javier Delgadillo Macías..... 157

EDUCACIÓN

EDUCACIÓN INTERCULTURAL INDÍGENA PARA LA PAZ

Eduardo Andrés Sandoval Forero..... 177

CONTAMINACIÓN

IMPLICACIONES EN LA AGRICULTURA POR EL DERRAME DE HIDROCARBURO EN ACATZINGO, MÉXICO

Franklin Rivera Pineda, Benito Ramírez-Valverde, José Pedro Juárez Sánchez, Beatriz Pérez Armendáriz, Néstor Estrella Chulim, Francisco Escobedo Castillo y Gustavo Ramírez Valverde..... 203

PROCESOS DE ELIMINACIÓN DE Cr (VI) EN MUESTRAS AMBIENTALES

Jorge Javier Ramírez García y Arturo Colín Cruz..... 219

EFFECTOS EN LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DE PLÁNTULAS DE MANGLAR DESPUÉS DE UN VERTIDO DE PETRÓLEO

Requena Pavón G.C., Agraz Hernández C.M., Vazquez Botello A., Osti Saézn, J., Reyes Castellanos J.E., Chan Keb C., García Zaragoza C. y Chan Canul E..... 233

“LAGUNA DE ZAPOTLÁN”, SITIO RAMSAR 1466. SUBSEDE DE LOS JUEGOS PANAMERICANOS DE REMO Y CANOTAJE “GUADALAJARA 2011”

J. Guadalupe Michel Parra, Ana Lizeth Iñiguez Chávez y José Raúl Jiménez Botello..... 243

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS EN UNA POBLACIÓN EXPUESTA A PLOMO EN EL ESTADO DE TLAXCALA

Juana Sánchez Alarcón, José Luis Gómez Olivares, Stefan M. Waliszewki, José M.R. Montiel González, J. Antonio Guevara García y Rafael Valencia Quintana..... 255

DETERMINAR EL EFECTO EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA Y DEL SEDIMENTO POR VERTIDO DE PETRÓLEO

Requena Pavón G.C., Agraz Hernández C.M., Vazquez Botello A., Osti Saézn J., Reyes Castellanos J.E., Chan Keb C., García Zaragoza C..... 271

CONTAMINACIÓN POR AGROQUÍMICOS DEL AGUA SUPERFICIAL DEL VALLE DEL CARRIZO, SINALOA, A TRAVÉS DE DRENAJE AGRÍCOLA CON DESCARGAS AL GOLFO DE CALIFORNIA	
María Guadalupe Ibarra Ceceña y Erasmo Miranda Bojórquez.....	281
PROBLEMAS AMBIENTALES EN CHIAPAS	
José Antonio Santiago Lastra, Miriam López Carmona, Mari Sandra Espinoza Guzmán, María Elena Moshán Álvarez y Juan Gabriel Gómez Hernández.....	297
EFFECTOS TÓXICOS DE LA ATRAZINA EN LA EXPRESIÓN GENÉTICA EN EMBRIONES DEL PEZ CEBRA (<i>Danio rerio</i>)	
Sandoval Villasana A.M., Cervantes Dacasa F.R., Hernández Romano J., González Sánchez A. y Medrano Vaca M.G.....	329
ANÁLISIS DE EXPRESIÓN GENÉTICA POR PCR EN EMBRIONES DEL PEZ CEBRA PARA IDENTIFICAR LOS EFECTOS CAUSADOS POR 17B-ESTRADIOL	
Sandoval Villasana A.M., Hernández Romano J., Cervantes Dacasa F.R. y Medrano Vaca M.G.	337
LISTA DE AUTORES Y AUTORAS	345

Nota importante:

Para la elaboración de los capítulos de este libro se proporcionaron a los autores instrucciones editoriales específicas, con la intención de facilitar el manejo de la información y brindar un documento homogéneo. En algunos casos fue necesario ajustar el contenido al formato proporcionado, sin embargo, la información original no se modificó, aunque pudieron haberse cometido algunos errores tipográficos, el contenido de los capítulos es responsabilidad exclusiva de los autores. Por otro lado, la Academia Nacional de Ciencias Ambientales y la Universidad Autónoma Indígena de México, no avalan la efectividad de los productos ni de los accesorios que se mencionan por nombre común o marca comercial en algunos trabajos, como tampoco pueden respaldar ni certificar la validez de los experimentos y resultados.



Agua y Suelo



MODELACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS Y ESTIMACIÓN DE RIEGOS DE INUNDACIÓN EN EL ESTADO DE TABASCO

**Humberto Vaquera Huerta
Alejandro Iván Aguirre Salado**

INTRODUCCIÓN

El estado de Tabasco representa el 1.3% del territorio nacional y aporta cerca del 27 % de los recursos hidrológicos del país, la mayor parte del estado esta formado por llanuras con elevaciones próximas al nivel del mar y los suelos predominantes son ricos en arcilla con baja permeabilidad (Vertisoles, Gleysoles, Luvisoles). Las llanuras tabasqueñas son por naturaleza zonas de inundación, que históricamente han sufrido estos fenómenos, algunas de las cuales, por la gravedad del siniestro ocurrieron en los años 1975, 1990, 1999, 2007, 2008 y la última de gran magnitud fue en 2009.

Las pérdidas económicas causadas por las inundaciones han sido cuantiosas, como lo demuestra un estudio realizado por Zapata *et al.* (2008), en donde se estima que la inundación ocurrida en 1999 causó pérdidas económicas en 2500 millones de pesos, monto que equivalía al 4% del Producto Interno Bruto (PIB) del estado; la ocurrida en 2007, cuando se inundó mas del 80% de la superficie del estado, ocasionó pérdidas por 3,100 millones de dólares, que representó el 29.31% del PIB estatal y generó la histórica cifra de 1 millón 200 mil damnificados; la ocurrida en 2008 cuando se inundó cerca del 30% del estado, causó pérdidas que ascendieron a 5,277 millones de pesos, que equivalía al 4.39% del PIB estatal.

A raíz de las inundaciones en Tabasco en 1999, en el 2003 se creó el Programa Integral de Control de Inundaciones, el cual se construyó basado en la planeación para el manejo de los sistemas hidráulicos Mezcalapa-Samaria, los ríos de la Sierra y el Carrizal-Medellin.

Algunas de las causas que provocan inundaciones en el estado de Tabasco, particularmente en la ciudad de Villahermosa, son las siguientes: eventos prolongados de lluvia extrema, provocada por fenómenos hidro-meteorológicos tales como los frentes fríos y ciclones tropicales; falta de infraestructura para controlar grandes escurrimientos en los ríos de la cuenca del río Grijalva. Contaminación por sedimentos producto de inundaciones pasadas que disminuyen la capacidad de cauce de los ríos de la cuenca. El cambio de uso del suelo de forestal a agrícola, situación que genera una gran cantidad de azolves que va a depositarse a los cauces de los ríos. Asentamientos humanos en zonas de alto riesgo que han disminuido la capacidad de los cauces.

El propósito del presente trabajo fue el generar metodología para estimar periodos de retorno e identificar tendencias de eventos extremos de precipitación con el propósito de monitorear y predecir inundaciones y elaborar mapas de riesgo de de riesgo de inundaciones basado en la teoría de valores extremos para el estado de Tabasco, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fuente de información pluviométrica utilizada en este trabajo es el producto llamado MAYA v1.0 del Sistema Meteorológico Nacional. Esta colección de datos forma una malla de nodos a través de todo el territorio nacional, y su elaboración es producto de la interpolación de los datos de todas las estaciones del territorio nacional sobre una malla uniformemente distribuida, con una separación de 0.2 grados entre nodo, que para el territorio de México es de aproximadamente 20 km de separación. Se trata de una reconstrucción pluvial día con día durante 40 años (1961-2000).

En el estado de Tabasco se ubican 57 nodos, pero para el fin del presente estudio se requirió de más nodos vecinos que circundaran el estado, para evitar subestimaciones en los bordes, por lo que se analizaron 364 nodos en total.

Área de Estudio.

El estado de Tabasco se encuentra en la parte sureste del país, entre los 17°15' y 18°39' latitud norte y 90°59' y 94°08' de longitud oeste. Colinda al norte con el golfo de México, al sur con el estado de Chiapas, al oeste con el estado

de Veracruz y al este con Campeche y la república de Guatemala. Abarca una superficie de 24,661 kilómetros cuadrados que corresponde al 1.3% de territorio nacional. El 17 de junio de 1823 es reconocido como una de las provincias del territorio mexicano y es aceptado como estado el 31 de enero de 1824. De acuerdo al INEGI, Tabasco se encuentra en dos de las 15 provincias fisiográficas en las que se divide México, llanura costera del golfo sur y las Sierras de Chiapas y Guatemala La llanura costera del golfo sur ocupa el 95.57% del estado, está formada por grandes cantidades de aluvión, acarreado por los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva y Usumacinta.

Suelos.

Entre los tipos de suelos se encuentran los suelos arcillosos y de baja permeabilidad como los Gleysoles, Vertisoles, Cambisoles, Regosoles, Fluvisoles, los Acrisoles y Luvisoles, clasificados como de drenaje deficiente, que aunado con el relieve plano, las abundantes lluvias y los numerosos ríos, favorecen las inundaciones.

Hidrografía.

En Tabasco el cauce del Río Grijalva es modificado por la construcción de cuatro presas: La angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas, cuyo principal objetivo es la generación de energía eléctrica.

La llanura costera de Tabasco se ubican los sistemas lagunares costeros: Laguna El Yucateco, Laguna El Ostión, Laguna Carmen, Laguna Machona, Laguna Tupilco, Laguna Mecoacán y Laguna Chiltepec, las cuales suman una superficie de 31 902.7 ha, mientras que las lagunas interiores suman una extensión total de 72 909.7 ha y los 1665 lagos temporales que tiene el estado suman 18 682.8 ha. Los ríos Grijalva y Usumacinta atraviesan la parte central del estado y se unen cerca de Frontera, Tabasco, tienen escurrimientos medios anuales de 58 900 y 46 300 millones de metros cúbicos y aportan cerca del 27% de los recursos hidrológicos del país.

Clima.

Según INEGI el 95.5% de la superficie del estado presenta clima cálido húmedo, el restante 4.5% es clima cálido subhúmedo hacia la parte este del estado. En

Tabasco, el clima predominante en la mayor parte del estado, es el cálido húmedo con régimen de lluvias en verano Am(w), con un porcentaje de precipitación invernal menor de 5%, con poca oscilación térmica y marcha de la temperatura tipo Ganges. Este clima en el estado se caracteriza por tener una temperatura media anual en la entidad de 27°C, la temperatura máxima promedio es de 36°C y se presenta en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio es de 18.5°C durante el mes de enero. La precipitación media estatal es de 2 550 mm anuales, las lluvias se presentan todo el año, más abundantes en los meses de junio a octubre. A partir del mes de octubre la planicie es invadida por vientos anticiclónicos cargados de humedad a los cuales se les denomina nortes. Estos se originan por el intercambio de aire de un ciclón que se aleja por el Mar Caribe y Golfo de México, así como por vientos del noreste provenientes de Estados Unidos y Canadá, denominados frentes fríos. Los nortes ocasionan nublados constantes, disminución de temperaturas y lluvias de ligeras a fuertes, pero que a veces duran varios días e incluso semanas. Los nortes se presentan del mes de septiembre al mes de febrero. Los meses más lluviosos son septiembre y octubre; los meses de noviembre, diciembre y enero son medio lluviosos y finalmente las lluvias disminuyen drásticamente para febrero.

Desde finales de febrero a principios de junio se presenta la temporada de secas, caracterizadas por altas temperaturas, ausencia de nubosidad, y lapsos sin lluvia durante varias semanas, que en ocasiones llegan a rebasar el mes, ocurren también vientos cálidos del sur y sureste. Los valores mínimos de precipitación se presentan en el mes de abril.

Vegetación.

La vegetación terrestre de Tabasco, consta de una biodiversidad constituida por 159 familias con 988 géneros y 2598 taxa específicos e infra específicos. Cincuenta y cuatro especies registradas para el estado de Tabasco están dentro de alguna de las categorías de las NOM-059-SEMARNAT-2001 (32 amenazadas, siete en peligro de extinción y 15 bajo protección especial). La vegetación primaria terrestre esta reducida a escasos manchones y arboles aislados, la mayoría fuertemente perturbados por la ganadería, agricultura y asentamientos humanos. La vegetación costera, es principalmente herbácea y esta representada por *Ipomea pescaprae* y *Croton punctatus* como flora típica de dunas. Las comunidades de hidrófitas, son reconocidas como vegetación acuática y subacuática por

Rzedowsky (1981). La vegetación acuática esta constituida por 1028 registros de los cuales pertenecen a 116 familias, 340 géneros y 664 especies de plantas vasculares, de las cuales 10 están sujetas a protección especial, cuatro de ellas son manglares.

Existen nuevos tipos de vegetación acuática (VA), dentro de las comunidades arbóreas y arborescentes: selva mediana inundable, selva baja inundable, selva alta riparia, bosque perennifolio ripario, manglar, palmar inundable; dentro de las arbustivas: matorral inerme inundable; matorral espinoso inundable; dentro de las herbáceas (acuáticas y subacuáticas): hidrófilas enraizadas emergentes, hidrófilas enraizadas de tallos postrados, hidrófilas enraizadas sumergidas (vegetación acuática sumergida-VAS), hidrófilas libremente flotadoras e hidrófilas libremente sumergidas.

Suelos.

Los suelos más abundantes en Tabasco, por su extensión son: Vertisoles (19.9%), Gleysoles + Histosoles (13.78%), Luvisoles (11.12%), Fluvisoles (10.99%) y Gleysoles (8.53%).

Fisiografía.

Según resultados del Programa de Ordenamiento Ecológico de Tabasco, en el estado existen más de 340 diferentes unidades de paisajes agrupadas en nueve grandes clases: barrera, duna, llanura, lomerío, valle, sierra, dolina, cañón y paisaje antrópico. Dentro de estos, la llanura es el de mayor extensión con 62.88%, seguido por el lomerío con 23.49%, ocupando entre ambos más del 86% de la superficie del estado. Los paisajes de Tabasco, en su mayoría, corresponden a paisajes de zonas bajas inundables, con clima cálido húmedo e intensas lluvias en verano, que generalmente presentan suelos poco fértiles característicos de zonas inundables debido a que su capacidad de drenaje es muy escasa. Las zonas naturales que aún mantienen algún tipo de bosque tropical son muy escasas a excepción de las áreas de humedales (pantanos) en donde se ubica una de las reservas mas importantes, la Reserva de la Biosfera de los Pantanos de Centla.

Teoría de valores extremos.

En 1928 Fisher y Tippet (1928) y más tarde Gnedenko en 1943, demostraron que las únicas distribuciones límites, para modelar los valores extremos son las siguientes:

Sean X_1, X_2, \dots, X_n , variables aleatorias i.i.d. con función de distribución F y sea $M_n = \max(X_1, X_2, \dots, X_n)$, entonces:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(M_n \leq x) = \lim_{n \rightarrow \infty} F^n(x) = 0$$

Para cualquier x con $F(x) < 1$

Si existen las constantes $a_n > 0$ y $b_n \in R$ tales que a medida que $n \rightarrow \infty$

$$P\left(\frac{M_n - b_n}{a_n} \leq z\right) = F^n(x) \rightarrow G(x)$$

Donde G es una función de distribución no degenerada, entonces G debe de ser alguna de las siguientes distribuciones:

$$I). \text{Gumbel: } \Delta(x) = \exp(-e^{-x}) \quad x \in R$$

$$II). \text{Fréchet: } \Phi(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \exp\{-x^{-\alpha}\}, & x > 0 \end{cases}$$

$$III) \text{Weibull: } \psi_\alpha(x) = \begin{cases} \exp(-(-x)^\alpha) & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$$

Donde $\alpha > 0$ se denomina el parámetro de forma para las familias Fréchet y Weibull. Este grupo de funciones es conocido como las distribuciones del valor extremo. En términos prácticos, para la estimación de los máximos en bloques, primero se seleccionan los máximos dentro de cada bloque, se elige una distribución a priori del tipo $G(x)$ anterior y finalmente se estiman los parámetros por máxima verosimilitud.

Para evitar la selección de una función a priori, se utiliza la expresión dada por Jenkinson (1955) y Von Mises (1936), conocida como la distribución generalizada de los valores extremos:

$$H_{\epsilon, \mu, \sigma}(x) = \begin{cases} \exp\left\{\left[-\left(1 + \xi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)\right)^{-1/\xi}\right]\right\} & \text{si } \xi \neq 0. \\ \exp\left\{-e^{-\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)}\right\} & \text{si } \xi = 0. \end{cases} \quad (2.1)$$

Donde $1 + \epsilon x > 0$. La distribución Fréchet puede ser obtenida a partir de la GEV fijando $\xi = \alpha^{-1}$, para la distribución Weibull se tiene que $\xi = -\alpha^{-1}$ y para la Gumbell $\xi = 0$.

De lo anterior se observa que es posible realizar la estimación en la metodología de máximos por bloques aplicando el método de máxima verosimilitud a la distribución GEV.

Es común calcular probabilidades relacionadas con los valores extremos. Un caso particular es en hidrología, en donde el valor extremo X_p tal que $P(X \leq x) = 1 - p$ es conocido como nivel de retorno asociado al periodo de retorno $1/p$. En otras palabras se espera que ocurra un máximo igual a X_p , en un periodo de tiempo de $1/p$ observaciones, particularmente si las observaciones son máximos anuales, el periodo de retorno se medirá en años.

Por lo anterior, el valor de X_p asociado al periodo de retorno $1/p$ es el cuantil $1 - p$ de la distribución, y esta dada por:

Por lo anterior, el valor de X_p asociado al periodo de retorno $\frac{1}{p}$ es el cuantil $1 - p$

de la distribución $H_{\epsilon, \mu, \sigma}(x)$, y está dada por:

$$x_p = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left[1 - \{-\log(1 - p)\}^{-\xi}\right] & \text{para } \xi \neq 0 \\ \mu - \sigma \log(-\log(1 - p)) & \text{para } \xi = 0 \end{cases}$$

Estimación de parámetros.

Los parámetros estimados son tales que minimicen la siguiente función de verosimilitud.

$$l = -n \log(\sigma) - \left(\frac{1}{\xi} + 1\right) \sum_{i=1}^n \log \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right] - \sum_{i=1}^n \left[1 + \xi \left(\frac{x_i - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\frac{1}{\xi}}$$

Para el caso de la distribución gumbel $\xi = 0$, , la función de verosimilitud queda como:

$$-n \log(\sigma) - \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \mu}{\sigma} - \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{x_i - \mu}{\sigma}\right)$$

Metodologías para encontrar los valores extremos de una serie: método de máximo por bloques.

El primero es el llamado máximo por bloques, en donde se dividen los datos en secciones de igual tamaño y se escoge el valor más grande dentro de cada bloque. La ventaja de este método es que se escogen valores sobre todo el conjunto de datos, sin embargo, se pueden omitir los siguientes valores extremos dentro del mismo bloque que que posiblemente sean mayores que el máximo dentro de otro bloque.

Pruebas de bondad de Ajuste.

Para probar la bondad de ajuste del modelo, se empleará la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual se emplea para probar el grado de concordancia entre la distribución empírica de una muestra aleatoria y alguna distribución teórica completamente especificada. La prueba es como sigue:

$$D = \sup_{-\infty \leq x \leq \infty} |F_n(x_i) - F_0(x_i)|$$

Donde

x_i es el i -ésimo valor observado en la muestra ordenada.

$F_n(x_i)$ es la función de distribución empírica.

$F_0(x_i)$ es la función de distribución teórica.

Una forma de encontrar el estimador D consiste en obtener:

$$D^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ \frac{i}{n} - F_0(x_i) \right\}$$

$$D^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left\{ F_0(x_i) - \frac{i-1}{n} \right\}$$

Para $i = 1, \dots, n$

y a partir de esto

$$D = \max(D^+, D^-)$$

Entonces se rechaza H_0 si y solo si $D > D_\alpha$

Donde D_α es obtenido mediante valores tabulados de la distribución asintótica

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Pr \left(D_n \leq \frac{z}{\sqrt{n}} \right) = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i-1} \exp^{-2i^2 z^2}$$

Modelos Lineales Generalizados Vectoriales.

En los modelos lineales generalizados (Nelder y Wedderburn, 1972), la distribución de la variable respuesta, perteneciente a la familia exponencial, la media está relacionada con p -covariables x 's por

$$g(\mu) = \eta(x) = \beta^T(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p$$

Posteriormente estos modelos fueron ampliados a los modelos generales aditivos (GAMs, por sus siglas en ingles) (Hastie y Tibshirani, 1990), en los cuales:

$$g(\mu) = \eta(x) = \beta^T(x) = \beta_0 + f_1(x_1) + \dots + f_p(x_p)$$

Donde, son funciones suavizadas arbitrarias.

Yee y Wild (1996) ampliaron estos modelos, a los modelos lineales aditivos vectoriales, en los cuales la variable respuesta puede ser q-dimensional y esta relacionada por

$$f(y | x; B) = h(y, \eta_1, \dots, \eta_M)$$

Para alguna función donde B , es una matriz de orden $p \times M$, y el j-ésimo predictor lineal es

$$\eta_j = \eta_j(x) = \beta_{(j)0} + f_{(j)1}(x_1) + \dots + f_{(j)p}(x_p) = \beta_{(j)0} + \sum_{k=1}^p f_{(j)k}(x_k), \quad j = 1, \dots, M$$

Se tiene a los modelos lineales generalizados vectoriales, como un caso particular de estos, donde $f_{(j)i}(x_i) = \beta_{(j)i} x_i$

$$\eta_j = \eta_j(x) = \beta_{(j)0} + \beta_{(j)1} x_1 + \dots + \beta_{(j)p} x_p = \beta_{(j)0} + \sum_{k=1}^p \beta_{(j)k} x_k, \quad j = 1, \dots, M$$

Es común limitar el efecto de algunas covariables en determinados η_j 's, por ejemplo, al ajustar el modelo

$$\begin{aligned} \eta_1(x) &= \beta_{(1)0} + f_{(1)1}(x_1) + f_{(1)2}(x_2) \\ \eta_2(x) &= \beta_{(2)0} + f_{(1)1}(x_1) \end{aligned}$$

De modo que $f_{(2)1}(x_1) = f_{(1)1}(x_1)$ y $f_{(2)2}(x_2) = 0$, lo cual se logra mediante la matriz de restricciones H , de la siguiente forma:

$$\eta_j = H_0 \beta_{(j)0}^* + \sum_{k=1}^p H_k f_{(j)k}^*(x_k), \quad j = 1, \dots, M$$

Donde H_0, \dots, H_p , son matrices de rango completo por columnas, $f_{(j)k}^*$ y $\beta_{(j)0}^*$, es un vector funciones suavizadas y $\beta_{(j)0}^*$ es un vector de interceptos.

Comparación de modelos.

En los modelos lineales generalizados se define la devianza como:

$$D = 2[l(b_{\max}; y) - l(b; y)]$$

Donde $l(b_{\max}; y)$ es el máximo de la log verosimilitud del modelo completo, es decir, el modelo que contiene tantos parámetros como observaciones y $l(b; y)$ es el máximo de la log verosimilitud del modelo de interés. El estadístico anterior tiene aproximadamente una distribución χ_{m-p}^2 donde m es el total de observaciones y p es el número de parámetros del modelo de interés.

Con base en la estadística anterior se pueden comparar dos modelos para ver si son o no diferentes, mediante la diferencia de sus devianzas, la cual tendrá distribución $\chi_{p^*}^2$ donde p^* es la diferencia entre el número de parámetros de ambos modelos.

Interpolación por Kriging.

El Kriging tiene sus orígenes en los mediados del siglo pasado, cuando el Sudafricano D. G. Krige (1951), desarrolló una serie de métodos estadísticos empíricos para determinar la distribución espacial de minerales, basada en una serie de perforaciones realizadas sobre la superficie. Posteriormente el matemático francés Georges Matheron (1953), basado en los trabajos de Krige, formalizó la técnica y la llamo Kriging. Es un método de interpolación geoestadístico basado en la autocorrelación. El modelo Kriging ordinario es el siguiente:

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$$

Donde $s = (x, y)$ es un punto en el espacio.

El predictor esta formado por la suma ponderada de los datos:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Donde s_0 es el punto sobre el que se requiere la estimación.

N es el número de puntos alrededor de s_0 que serán usados para la predicción. λ_i 's son los pesos para cada una de las mediciones.

$Z(s_i)$ son los valores observados en el punto s_i
 $\hat{Z}(s_0)$ es la estimación sobre s_0

Los estimadores λ_i 's, son los que minimizan:

$$\left(Z(s_0) - \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \right)^2$$

Sujeto a la restricción de que la suma de los pesos λ_i 's tiene que sea igual a 1.

La solución a la minimización, sujeto a la restricción, esta dada por las ecuaciones Kriging siguiente:

$$\tilde{\lambda} = \Gamma^{-1} g$$

Donde:

$$\Gamma = \begin{Bmatrix} \gamma_{11} & L & \gamma_{1N} & 1 \\ M & O & M & M \\ \gamma_{N1} & \dots & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & L & 1 & 0 \end{Bmatrix} \quad \lambda = \begin{Bmatrix} \lambda_1 \\ M \\ \lambda_N \\ m \end{Bmatrix} \quad g = \begin{Bmatrix} \gamma_0 \\ M \\ \gamma_{N0} \\ 1 \end{Bmatrix}$$

Donde m es desconocido y es estimado de tal forma que se cumpla con la

restricción $\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$, los γ_{ij} son las semivarianzas calculadas con el semivariograma ajustado, con la distancia entre los puntos s_i y s_j ; y los γ_{i0} son las semivarianzas calculadas con el semivariograma ajustado, con la distancias entre el punto S_0 los puntos S_j .

El semivariograma ajustado, es el modelo que ajusta al semivariograma empírico, el cual es una grafica entre las distancias y la semivarianza promedio observada en dicha distancia. La semivarianza entre dos puntos, es igual 0.5 multiplicado por la diferencia entre los valores elevada al cuadrado.

Para el caso del presente trabajo se usó un modelo esférico para el semivariograma definido como sigue:

$$\gamma(h, \theta) = \begin{cases} \theta_s \left[\frac{3 \|h\|}{2 \theta_r} - \left(\frac{1 \|h\|}{2 \theta_r} \right)^3 \right] & \text{para } 0 \leq \|h\| \leq \theta_r \\ \theta_s & \text{para } \theta_r \leq \|h\| \end{cases}$$

Donde $\theta_s \geq 0$ es el parámetro de umbral y $\theta_r \geq 0$ es el parámetro de rango.

Los pasos para realizar la interpolación son los siguientes:

Se calcula el semivariograma empírico.

Se ajusta un modelo.

Se calculan las matrices.

Se realiza la predicción.

Interpolación ponderada en base al inverso de las distancias.

Esta interpolación explícitamente implementa la asunción de que las cosas más cercanas a comparten las mismas características y las mas alejadas tienen menos características en común.

La fórmula general es la siguiente:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Donde s_0 es el punto sobre el que se requiere la estimación.

N es el número de puntos alrededor de s_0 que serán usados para la predicción.

λ_i 's son los pesos para cada una de las mediciones.

$Z(s_i)$ son los valores observados en el punto

$\hat{Z}(s_0)$ es la estimación sobre s_0

La fórmula para determinar los pesos es la siguiente:

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}$$
$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

d_{i0} es la distancia entre el punto sobre el que se quiere estimar la predicción s_0 y cada uno de los puntos observados s_i .

Validación cruzada.

La validación cruzada simple es una herramienta estadística que consiste en dividir a la muestra en dos subconjuntos complementarios, uno de los cuales será el conjunto objetivo (prueba) sobre el que se harán estimaciones y el otro será el subconjunto de muestra (aprendizaje), este será el conjunto sobre el que se elabore el modelo, finalmente se obtendrá la raíz del cuadrado medio del error (RMSE) sobre las estimaciones del conjunto de prueba.

Esta técnica puede generalizarse dividiendo a la muestra en k subconjuntos disjuntos de la muestra, en este caso un conjunto será el de prueba y los demás serán los subconjuntos sobre los que se construirá el modelo, se calculará la raíz del cuadrado medio del error sobre las estimaciones del conjunto de prueba. Este procedimiento se repetirá para cada uno de los k subconjuntos y la medida del error será la media aritmética de los RMSE obtenido en cada subgrupo.

Resumen del método empleado.

Se realizó el ajuste de los valores extremos, por unidad de observación meteorológica (entendiéndose por dicha unidad a cada uno de los 364 nodos del Sistema Maya v1. ubicados en el estado de Tabasco y su periferia). Dicho ajuste se realizó utilizando los valores máximos de bloques de seis meses,

posteriormente se le aplicó un ajuste a la función generalizada de valores extremos, usando los modelos lineales generalizados vectoriales (VGLM), el cual se realizó mediante la librería del mismo nombre, del paquete estadístico R. El ajuste consideró como variable dependiente al tiempo y se comparó con el modelo que solo incluía a la media general, se realizó una prueba de diferencia de modelos por medio de la devianza para elegir el modelo que mejor explicara los valores extremos, dicho procedimiento es utilizado para explicar posibles comportamientos de dependencias temporales en la serie de los máximos.

Una vez obtenido el modelo adecuado para cada uno de los datos, se eligieron los parámetros de la función de valores extremos, a las estimaciones hechas para el último dato de la serie de máximos con lo cual se realizó una estimación de los periodos de retorno para 20, 50 y 100 años.

Finalmente se elaboró el mapa a nivel estatal, utilizando las estimaciones para cada nodo ubicado en el estado de Tabasco e interpolando mediante el método del vecino más cercano y mediante el método Kriging.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados del análisis VGLM y las pruebas ji-cuadradas de comparación de modelos, arrojaron que para el modelado de los valores extremos, 24 de los 57 nodos de observación de precipitaciones en Tabasco (Figura 1), provenientes de la base de datos climatológicos interpolados en malla regular (MAYA v1.0), mostraron clara dependencia con respecto al tiempo, en estos nodos, se ajustó el modelo de valores extremos, utilizando al tiempo como covariable para el modelo.

Los parámetros estimados de localidad, escala y forma para los modelos ajustados de valores extremos, para cada uno de los nodos, están distribuidos gráficamente como se muestra en la Figura 2, en donde para facilitar la descripción de tales parámetros se ha hecho la clasificación en 3 grupos. En el primer grupo están el 50 por ciento de las observaciones, cuyo valor medio de los parámetros es de 25.89, 12.87 y 0.097 para los parámetros de localidad, escala y forma respectivamente, un grupo intermedio con valores medios de los parámetros de 42.6, 20.01 y 0.088, con el 33 por ciento de las observaciones y un tercer grupo con medias de 67.43, 29.26 y 0.064 para los parámetros de localidad, escala y forma respectivamente, en el que se encuentra el 18 por ciento de las observaciones.

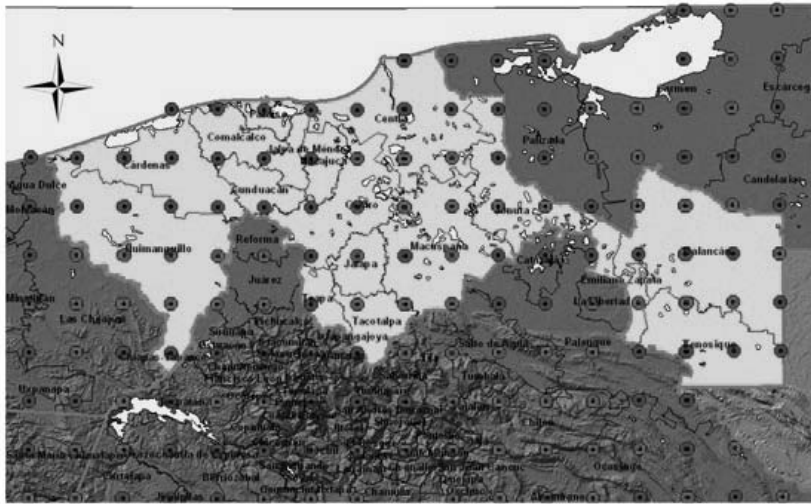


Figura 1. Distribución de los nodos del sistema MAYA v.1 en Tabasco. En los nodos rojos, los valores extremos en presentan dependencia con respecto al tiempo.

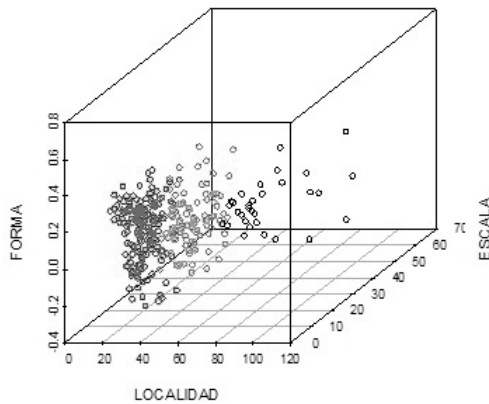


Figura 2. Distribución de los parámetros de Localidad, Escala y Forma.

Por otra parte los resultados de la interpolación son mostrados en la Figura 2, donde se comparan los dos métodos utilizados, mediante la validación cruzada y la raíz del error cuadrático medio

Cuadro 1. Comparación de la Raíz del Cuadrado Medio del Error para los métodos de interpolación Kriging e IDW.

Periodo de Retorno	Raíz del Error Cuadrático Medio	
	Kriging	IDW
20	31.65	31.74
50	40.72	40.71
100	48.80	48.98

En la Figura 3 podemos observar, los valores estimados y observados mediante el método de validación cruzada, donde se observa que las observaciones se distribuyen alrededor de la recta con pendiente unitaria, lo que era de esperarse, puesto que ambos métodos proporcionan estimaciones insesgadas. Con respecto a la comparación de ambos métodos, Kriging e IDW, los dos proporcionan resultados muy parecidos, tanto en el RMSE como en la distribución de sus errores.

El análisis de las precipitaciones extremas estimadas para los diferentes periodos de retornos utilizados en este trabajo presenta distribuciones similares en cuanto a las precipitaciones alrededor del estado, esto es, se presenta una zona de menor precipitación relativa, en gran parte de los municipios de Huimanguillo y Jonuta; un valor intermedio, mas o menos uniformemente distribuido, de las precipitaciones máximas, entre las zonas costeras y centrales del estado; y una zona con un valor de precipitación máxima alta, en la zona colindante con la sierra de Chiapas. La anterior distribución, es similar entre los distintos periodos de retorno, pero ponderada por un valor, cada vez más alto, según el respectivo periodo de retorno.

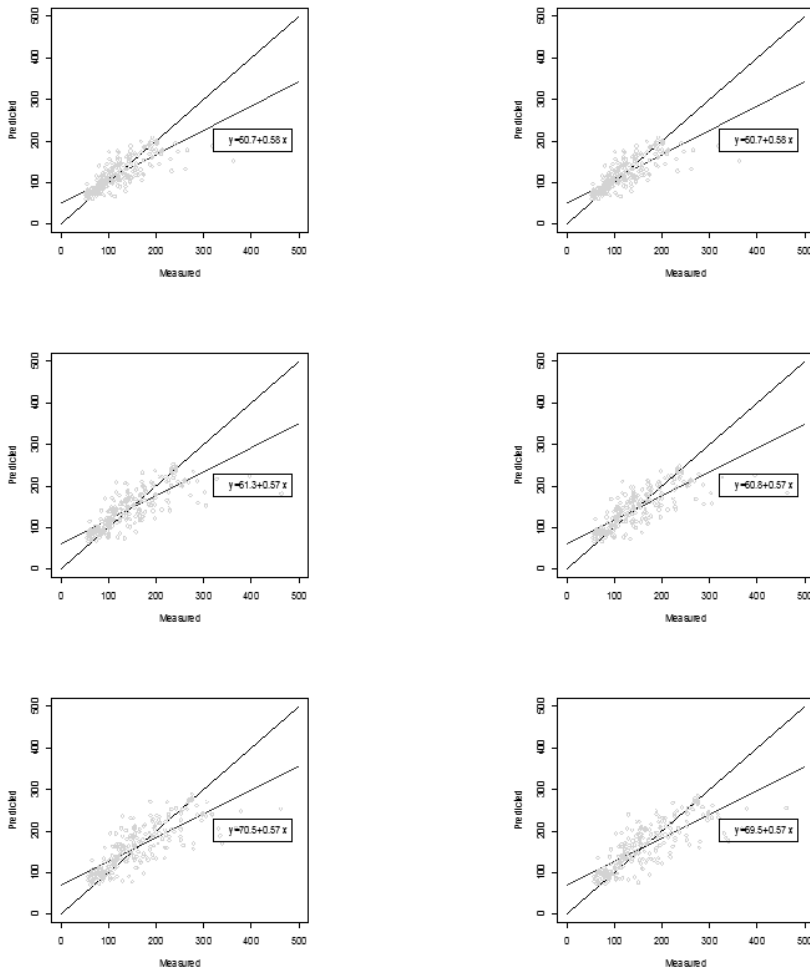


Figura 3. Valores observados y estimados, en la validación cruzada, para los métodos Kriging (izquierda) e IDW (derecha), para los mapas de periodos de retorno de 20, 50 y 100 años (de arriba hacia abajo).

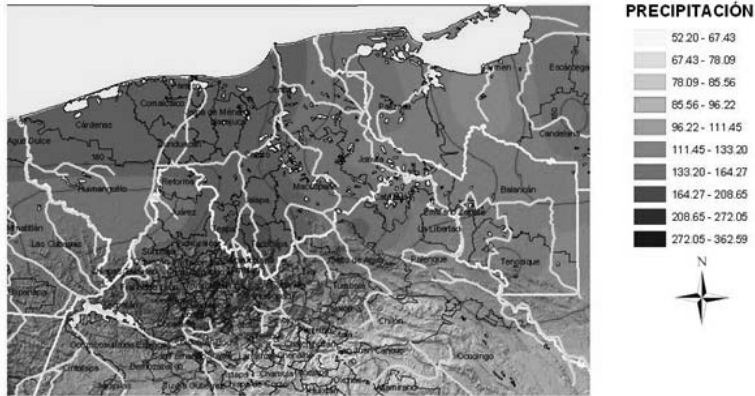


Figura 4. Distribución de los ríos en el mapa de precipitaciones máximas en 20 años.

De esta forma, los resultados son presentados para cada uno de los periodos de retornos de 20, 50 y 100 años, puesto que es necesario conocer la cantidad máxima de precipitación esperada para diferentes escenarios temporales, con el fin de diseñar políticas y elaborar programas para el corto, mediano y largo plazo, relacionadas con el control de inundaciones y la construcción de infraestructura. Para el caso de la distribución de las precipitaciones en el estado de Tabasco se utilizaron los dos métodos de interpolación descritos anteriormente, el método de interpolación Kriging y el método del vecino más cercano con ponderación inversa a la distancia.

En la Figura 5 se muestra el mapa de las precipitaciones máximas en los próximos 20 años en el estado de Tabasco, utilizando una interpolación Kriging a las estimaciones obtenidas de un análisis de valores extremos utilizando la distribución generalizada de valores extremos, ajustada mediante un modelo vectorial lineal generalizado con el tiempo como covariable. Los resultados muestran una distribución más homogénea de las precipitaciones máximas, presentándose los valores más altos en la parte cercana a la sierra de Chiapas, así como en algunas partes de los municipios de Tacotalpa, Jalapa, Centro, Cuenducán, Comalcalco, Cárdenas y Centla.

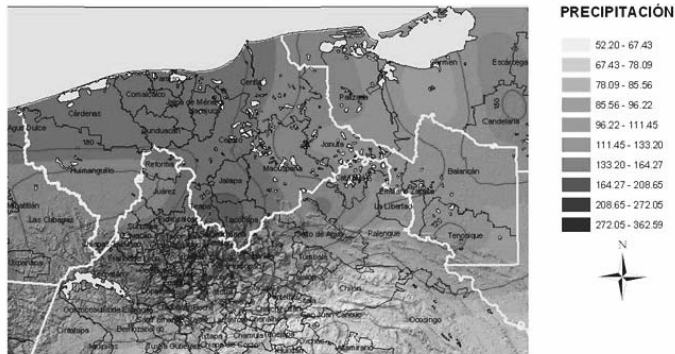


Figura 5. Mapa de precipitaciones máximas en los próximos 20 años en el estado de Tabasco, mediante un ajuste VGLM a la función Generalizada de Valores Extremos, con interpolación Kriging.

Similarmente se realizó la interpolación con el método del vecino más cercano con ponderaciones inversas a las distancias, y se encontró una distribución de las precipitaciones máximas que presentaba zonas intercaladas de valores altos e con intermedios de las precipitaciones máximas esperadas, en donde se hacia evidente la influencia de puntos extremos en dichas zonas.

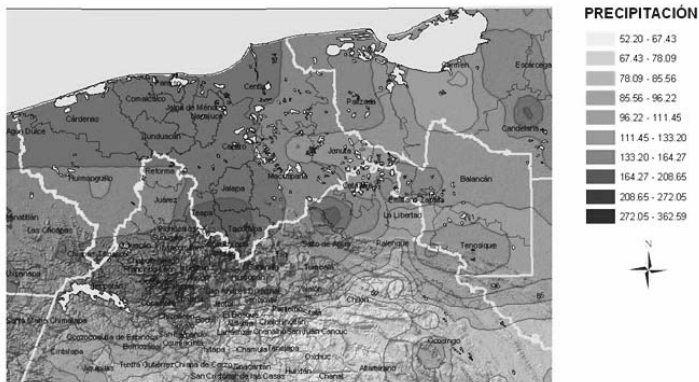


Figura 6. Mapa de precipitaciones máximas en los próximos 20 años en el estado de Tabasco, mediante un ajuste VGLM a la función Generalizada de Valores Extremos, con interpolación ponderada en base al inverso de las distancias.

El ajuste de las precipitaciones máximas para los próximos 20 años por medio del método del vecino más cercano se realizó mediante un promedio ponderado en relación inversa a la distancia de las 5 observaciones más cercanas al 20

punto en cuestión. Los resultados son muy similares a los obtenidos por el método de kriging, sin embargo, se puede observar que hay zonas que son influenciadas por puntos extremos en algunas partes del estado, como son algunas partes de los municipios de Huimanguillo y Macuspana, entre otros. Con relación a la distribución espacial de las precipitaciones máximas en 20 años, se observa que estas se encuentran distribuidas entre los 100 mm, en la parte de las orillas del estado, hasta los 363 mm, en las partes cercanas a la sierra, con precipitaciones de 160 mm en la parte central del estado.

Por otra parte, se observa que los principales ríos del estado, atraviesan por la zona con mayor probabilidad de precipitación, iniciando su recorrido en las sierras de Chiapas, donde se estima ocurrirán las precipitaciones máximas, por lo que es razonable pensar que en el futuro se presentarán elevaciones considerables en el caudal de dichos ríos, mismas que provocarán serias inundaciones durante su recorrido hacia el golfo de México.

De la misma manera, se realizó el mapa para las precipitaciones máximas en 50 años, usando los modelos lineales generalizados VGLM para estimar los parámetros de la función de valores extremos generalizada, usando nuevamente interpolación kriging e interpolación por el método del vecino más cercano.

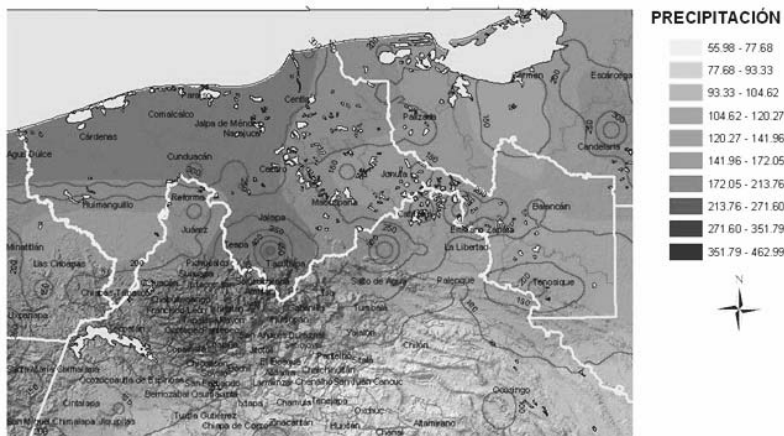


Figura 7. Mapa de precipitaciones máximas en los próximos 50 años en el estado de Tabasco, mediante un ajuste VGLM a la función Generalizada de Valores Extremos, con interpolación Kriging.

Los resultados para el periodo de retorno de 50 años, muestran un rango más amplio de precipitaciones, que van desde los 55 mm a los 463mm, distribuidos de forma similar al mapa de periodos de 20 años. Observamos que la mayor parte del central y costera del estado presenta una estimación de las precipitaciones máximas, que oscila entre los 200 y los 300 mm.

Se puede observar que este mapa (Figura 8) es muy similar al mapa construido mediante el método Kriging, sin embargo, nuevamente se observan zonas que están influenciadas por estaciones con altos valores en sus estimaciones. En cuanto al valor de las precipitaciones, se observa un valor que oscila entre 142 y 172 mm en partes de los municipios de Huimanguillo y Jonuta; entre 272 y 352 mm para los municipios del centro y costa de Tabasco; y de entre 352 y 463mm para los municipios cercanos a la sierra, como son Tacotalpa, Teapa y Jalapa.

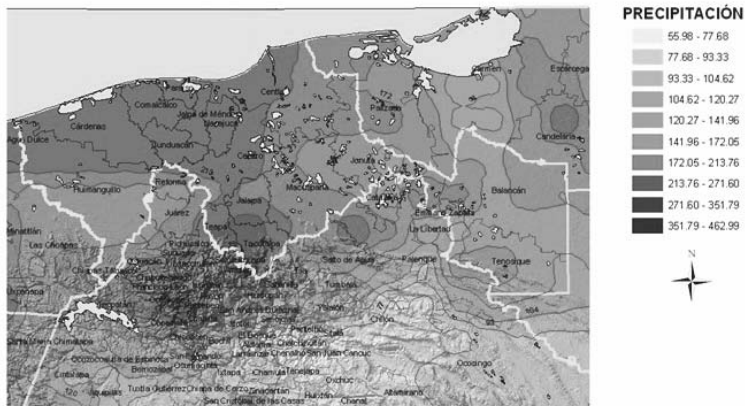


Figura 8. Mapa de precipitaciones máximas en los próximos 50 años en el estado de Tabasco, mediante un ajuste VGLM a la función Generalizada de Valores Extremos, con interpolación ponderada en base al inverso de las distancias.

Los resultados en el mapa de retornos de 100 años (Figura 9), muestran precipitaciones máximas superiores a los 400 mm en el municipio de Tacotalpa, principalmente en las localidades de La Raya 1a. Sección (Dos Patrias), Santa Rosa 1a. Sección, San Ramón, La Raya 1a. Sección (Nava), Ceibita 1a. Sección, San Lorenzo, San Fernando, Vanarrico Cuatro, Pochitocal 1a. Sección (Tila y Toronjo), Morelia, San José del Porvenir, Reforma (Madrigal 2a. Sección), La Raya 2a. Sección (Santa Cruz), Rancho Nuevo, San Antonio Chichilte y la Ceiba 2a. Sección

(San Luis), siendo las localidades con las precipitaciones más altas en el estado.

En el municipio de Centro, Tabasco, se espera que las precipitaciones máximas en oscilen entre 200 y 300 mm, particularmente en la localidad denominada Plátano y Cacao 4a. Sección, se espera que la precipitación máxima alcance los 301 mm de precipitación.

Por otra parte se esperan precipitaciones superiores a los 300 mm en amplias zonas de los municipios de Teapa, Jalapa, Cunduacán y Centla. Las precipitaciones superiores a los 200 mm se esperan en la mayor parte del estado, mientras que las precipitaciones mayores a 100 mm se presentan en algunas partes de los municipios de Macuspana, Huimanguillo y Jonuta.

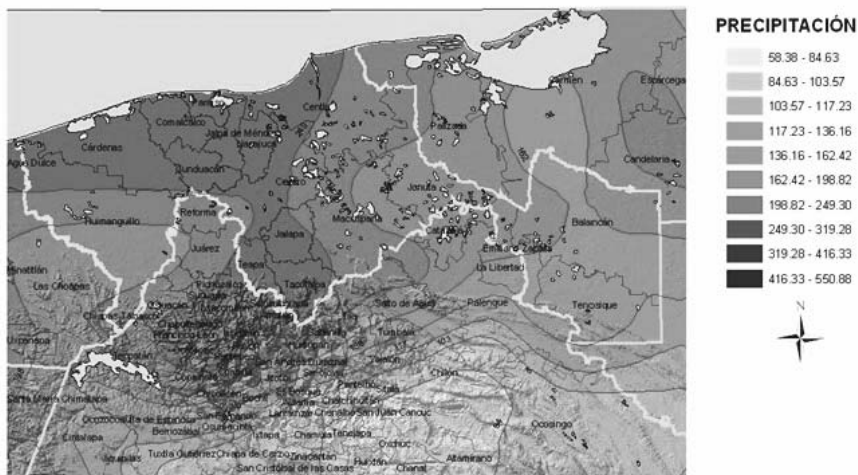


Figura 9. Mapa de precipitaciones máximas en los próximos 100 años en el estado de Tabasco, mediante un ajuste VGLM a la función Generalizada de Valores Extremos, con interpolación Kriging.

El mapa correspondiente a las precipitaciones máximas en 100 años, realizado con la interpolación del vecino más cercano, muestra una distribución de las precipitaciones máximas similar al mapa obtenido utilizando interpolación kriging, sin embargo, se observa la proliferación de zonas influenciadas por estaciones con elevados valores de precipitación máxima estimada.

Al igual que en los mapas anteriores, se puede observar una zona de precipitaciones estimadas mayor a los 400 mm en los municipios de Tacotalpa y Teapa, siendo las zonas que concentran las precipitaciones máximas esperadas más altas en el estado. Por otra parte se observa que en regiones de los municipios de Huimanguillo y Jonuta se encuentran las precipitaciones con mínimo valor relativo de las precipitaciones máximas esperadas en el estado.

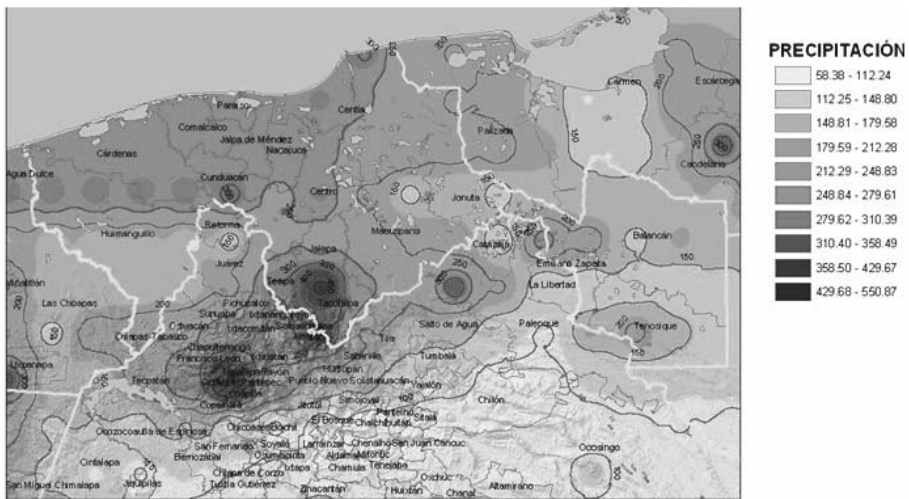


Figura 10. Mapa de precipitaciones máximas en los próximos 100 años en el estado de Tabasco, mediante un ajuste VGLM a la función Generalizada de Valores Extremos, interpolación ponderada en base al inverso de las distancias.

CONCLUSIONES

Se elaboró el mapa de las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, mediante una metodología que combina una serie de técnicas estadísticas, tales como el análisis de los valores extremos, los modelos lineales generalizados y la interpolación Kriging. La realización de dicho mapa pretende ser un apoyo más, para el estudio de los diferentes factores que contribuyen a los fenómenos de inundaciones en el estado de Tabasco, particularmente en las zonas pobladas, donde las pérdidas provocadas por estos fenómenos, tienden a provocar efectos catastróficos para la población, como se ha visto en los últimos años. Como se ha visto, el fenómeno de las inundaciones, es consecuencia de una serie de factores, de entre los cuales, el nivel de las precipitaciones máximas es posiblemente el más importante.

Es por eso, que la elaboración de mapas de periodos de retornos, tiende a ser un instrumento esencial para informar sobre las condiciones que pueden presentarse en un determinado espacio temporal futuro, sobre la cantidad de precipitación que puede caer y escurrir por la superficie de estudio. Los demás factores para estudiar para un completo manejo de las inundaciones y sus consecuencias, están en general, relacionados con los escurrimientos, como por ejemplo la cantidad de ríos, la capacidad de cauce, la cantidad de infraestructura destinada a controlar los escurrimientos, la localización de las localidades. Con respecto a la modelación de los valores extremos y su análisis mediante los modelos lineales generalizados vectoriales (VGLM), como se pudo observar en los resultados de este trabajo, proporciona una herramienta más para el estudio de máximos con datos no estacionarios.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó con el apoyo de la línea prioritaria de investigación No.15 “Estadística, modelado y tecnologías de información aplicadas a la agricultura y al medio rural” del Colegio de Postgraduados.

BIBLIOGRAFÍA

- Fisher, R. and L. Tippett 1928. "Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample", Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 24, pp.180–190.
- Hastie, T and Tibshirani, R. 1990. Generalized Additive Models. Chapman and Hall, London.
- Gnedenko, B.V. 1943. "Sur la Distribution Limite du Terme Maximum d'une Série Aléatoire", Annals of Mathematics, 44, pp. 423-453.
- Jenkinson, A. F. 1955. "The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements", Quart. J. Roy. Meteorol. Soc, 81, pp. 158- 171.
- Krige, D. G. 1951. "A statistical approach to some Basic mine valuation problems on the Witwatersrand", Journal of chem., metal and mining., 52, pp.119-139.
- Matheron, G.1963. "Principles of Geostatistics". Economic Geol, 58, pp.1246-1268.
- Nelder, J. A. and Wedderburn, R. W. M. (1972)."Generalized Linear Models", Journal of the Royal Statistical Society. Serie A(135), 370-384
- Rzedowsky J. 1981. La vegetación en México. Limusa-Wiley, México. 432pp.
- Von Mises, R. 1936. "La distribution de la plus grande de n valeurs", American Mathematical Society, Providence, 2, 271- 294.
- Yee, T. W. and Wild, C. J. 1996. "Vector Generalized Additive Models", Journal of Royal Statistical Society, Series B, 58(3), 481-493
- Zapata,R.,Urzúa, M., Hernández,R., Rodríguez, A., Leal, J., Montiel, M. and O'Farrill, J.P. 2011. "Tabasco: Características e impacto socioeconómico de las lluvias extremas de 2008". CEPAL, México, D.F.

RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA COSTA VERACRUZANA

**Travieso Bello A. C.
Welsh R. C. M.
Bocado V. A.
Ochoa M. C.**

INTRODUCCIÓN

El riesgo de desastre es una condición latente que anuncia la probabilidad de daños y pérdidas a futuro, como consecuencia del probable impacto de un peligro sobre una unidad social o sus medios de vida en condiciones de vulnerabilidad (Gómez, 2010). Este es una construcción social porque es producto de la relación entre lo natural y la organización y estructura de la sociedad, determinada por los procesos sociales particulares y los modelos de crecimiento y desarrollo inadecuados. Por ello, es importante considerar el nivel de desarrollo de la sociedad, su capacidad para modificar los factores de riesgo y para adaptarse a situaciones nuevas (Cardona, 2001; Lavell, 2010).

Los fenómenos peligrosos que pueden ocasionar riesgos son los químico-tecnológicos, sanitario-ecológicos, socio-organizativos, geológicos e hidrometeorológicos, sin embargo, se ha observado a nivel mundial un aumento significativo de estos últimos en comparación con los geodinámicos (García, 2010), los cuales causan en México el 43.8% de los daños totales registrados en la economía por concepto de desastres naturales (Bitrán, 2001).

Los fenómenos hidrometeorológicos se clasifican por su origen en naturales y socio-naturales, en el primer grupo se consideran las precipitaciones, los ciclones tropicales, las heladas, las granizadas y las sequías, mientras que en el segundo, se incluyen las inundaciones y la desertificación. Todos estos fenómenos se encuentran presentes en el estado de Veracruz de forma diferenciada, en función de las características fisiográficas del territorio y de la cercanía a la costa. Los

municipios costeros son los que se encuentran más expuestos a estos peligros, con excepción de las heladas, típicas de zonas templadas y frías.

Los escenarios de cambio climático para el Estado de Veracruz en general plantean un aumento de la temperatura. La tendencia de las precipitaciones no es muy clara, hay zonas donde habría un aumento, mientras que en otras se esperaría una disminución. Esta situación podría conducir a ondas de calor, sequías, elevación del nivel del mar e inundaciones, afectando la economía, la seguridad alimentaria y la salud humana. En este contexto, se analizan los riesgos hidrometeorológicos en la costa veracruzana, considerando los peligros y la vulnerabilidad de los municipios costeros, como un punto de partida para el desarrollo de políticas públicas, que permitan generar capacidades en la población para enfrentar los riesgos y adaptarse al cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron los peligros hidrometeorológicos que afectan la costa del estado de Veracruz y la existencia de infraestructura física para evitar riesgos. Además, se identificaron los municipios veracruzanos que poseen costas y para cada uno se analizaron las siguientes variables, indicadoras de la vulnerabilidad social: población total, población económicamente activa, población económicamente activa ocupada, población sin derechohabiencia a servicios de salud, grado promedio de escolaridad, viviendas particulares habitadas con piso de tierra, que no disponen de luz eléctrica, sanitario, agua entubada, drenaje y sin ningún bien. Los datos fueron obtenidos del censo de población y vivienda más reciente (INEGI, 2010).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el estado de Veracruz las lluvias se presentan principalmente en verano, debido a la llegada de masas de aire tropical y su interacción con la orografía (Ochoa *et al.*, 2006). En esta misma estación se desarrollan las ondas tropicales que pueden ocasionar precipitaciones intensas y generar condiciones propicias para la formación de ciclones tropicales (Acevedo y Díaz, 2006). La temporada ciclónica abarca del 1° de junio al 30 de noviembre, donde ocurren aproximadamente diez eventos ciclónicos anuales y en promedio, cada dos años uno causa severos daños en la entidad (CSVA, 2001). El promedio anual de

frentes fríos es 49 y el de ondas tropicales es 45, las cuales provocan fuertes lluvias (Pereira *et al.*, 2002).

La fragilidad física es alta debido a que la construcción de viviendas y la infraestructura básica en la entidad, por lo general no resiste los fenómenos hidrometeorológicos extremos. Aunque en algunos lugares se han construido bordos para evitar las inundaciones, éstos no se diseñaron para eventos extremos, por lo que la mayoría fueron rebasados durante las inundaciones del año 2010, asociadas al huracán Karl y a la tormenta tropical Matthew.

La entidad veracruzana por su ubicación geográfica en el Golfo de México y su forma alargada, presenta 29 municipios con costa, los cuales albergan 28.0% de la población de la entidad. Cabe mencionar que siete municipios costeros (24.1%) presentan más de 100 000 habitantes (Veracruz, Coatzacoalcos, Papantla, San Andrés Tuxtla, Tuxpan, Boca del Río y Martínez de la Torre), siendo el municipio de Veracruz el más poblado de todo el Estado.

El análisis de los indicadores que se relacionan de forma inversa con la vulnerabilidad, mostró que 18 municipios costeros (62.1%) presentan porcentajes por debajo del valor estatal para las variables población económicamente activa y grado promedio de escolaridad, lo mismo ocurre para 16 municipios (55.2%) en relación a la población económicamente activa ocupada.

En el caso de las variables que se relacionan de forma directa con la vulnerabilidad se presentaron valores porcentuales por encima del valor estatal para la variable viviendas particulares habitadas que no disponen de sanitario en 11 municipios costeros (37.9%), viviendas particulares habitadas sin ningún bien en 12 municipios (41.4%), población sin derechohabiencia a servicios de salud y viviendas particulares habitadas con piso de tierra en 13 municipios (44.8%), viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda, ni de drenaje en 15 municipios (51.7%), viviendas particulares habitadas que no disponen de luz eléctrica en 16 municipios (55.2%) (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Indicadores de vulnerabilidad social para los municipios costeros del Estado de Veracruz. Unidades: % (con excepción de Gesc). Ptot: población total, PEA: Población económicamente activa, PEAo: Población económicamente activa ocupada, Psder: población sin derechohabiencia a servicios de salud, Gesc: grado promedio de escolaridad. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI (2010).

Municipio	Ptot	PEA	PEAo	Psder	Gesc
Actopan	0.54	36.6	97.5	57.1	6.26
Alto Lucero	0.37	36.9	96.5	66.0	5.59
Alvarado	0.68	39.7	97.6	33.1	7.72
Angel R. Cabada	0.44	34.3	95.3	32.9	5.96
La Antigua	0.33	40.3	96.2	39.4	8.07
Boca del Río	1.81	42.9	96.3	30.7	10.16
Catemaco	0.64	36.8	96.2	37.1	6.62
Cazones de Herrera	0.31	33.7	95.9	45.6	6.45
Coatzacoalcos	3.99	44.2	95.9	28.0	9.44
Lerdo de Tejada	0.26	35.9	94.9	30.0	7.92
Martínez de la Torre	1.33	40.3	97.1	40.7	7.87
Mecayapan	0.23	28.7	91.9	37.6	5.09
Nautla	0.13	35.9	95.9	55.1	6.84
Ozuluama	0.30	37.0	97.7	28.9	6.16
Pajapan	0.21	35.7	95.7	50.4	4.66
Papantla	2.08	37.7	98.4	54.9	7.32
Pueblo Viejo	0.72	39.9	94.6	36.0	7.91
San Andrés Tuxtla	2.06	34.8	96.2	41.1	6.23
Tamalín	0.15	36.7	98.0	36.6	6.49
Tamiahua	0.31	34.7	98.6	43.7	6.28
Tampico Alto	0.16	38.0	97.4	38.6	6.56
Tantima	0.17	33.7	96.9	47.8	5.80
Tecolutla	0.33	38.8	96.7	44.3	6.72
Tuxpan	1.88	40.8	95.1	35.1	8.80
Ursulo Galván	0.38	37.4	95.6	30.8	8.01
Vega de Alatorre	0.26	40.7	97.0	52.7	6.78
Veracruz	7.22	42.9	96.0	29.2	9.79
Agua Dulce	0.60	35.0	94.2	29.9	8.45
Tatahuicapan de Juárez	0.19	29.3	92.3	70.5	5.25

Cuadro 1. Continuación

Total de la entidad		38.0	96.3	39.9	7.67
Mínimo de la entidad	0.11	28.2	97.9	43.3	3.05
Máximo de la entidad	0.16	38.4	98.0	52.6	10.28

Cuadro 2. Indicadores de vulnerabilidad social en relación a las viviendas particulares habitadas (VPH) para los municipios costeros del Estado de Veracruz. Unidades: %. Pi_ti: VPH con piso de tierra, Sin_ele: VPH que no disponen de luz eléctrica, Sin_san: VPH que no disponen de sanitario, Sin_agua: VPH que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda, Sin_dre: VPH que no disponen de drenaje, Sin_bien: VPH que no disponen de ningún bien. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INEGI (2010).

Municipio	Pi_ti	Sin_ele	Sin_san	Sin_agua	Sin_dre	Sin_bien
Actopan	4.9	1.1	4.5	4.3	2.8	1.9
Alto Lucero	4.6	1.0	4.4	11.3	2.8	2.7
Alvarado	5.7	3.5	9.1	30.0	5.7	2.6
Angel R. Cabada	9.7	5.9	8.6	14.7	7.8	5.7
La Antigua	5.3	0.9	5.9	3.8	5.6	1.5
Boca del Río	2.2	0.2	5.1	2.1	0.3	0.4
Catemaco	16.8	3.8	3.3	9.2	18.0	6.0
Cazones de Herrera	24.0	3.9	3.3	52.3	53.0	6.3
Coatzacoalcos	2.7	0.9	2.9	10.1	0.9	1.0
Lerdo de Tejada	2.4	1.7	4.9	8.0	2.0	2.1
Martínez de la Torre	14.1	2.6	3.3	25.5	6.4	2.8
Mecayapan	12.9	5.3	29.8	25.3	41.9	21.1
Nautla	13.6	7.4	8.2	49.2	13.7	6.6
Ozuluama	26.9	12.3	5.0	43.6	39.2	3.8
Pajapan	8.4	6.8	12.7	18.2	33.0	16.0
Papantla	26.7	3.8	3.4	59.0	32.6	4.5
Pueblo Viejo	8.4	2.4	2.4	28.0	27.7	1.7
San Andrés Tuxtla	26.0	3.5	5.8	7.6	26.0	6.3
Tamalín	27.3	7.0	2.7	34.1	31.2	7.3
Tamiahua	14.8	4.1	4.1	65.4	42.2	4.7
Tampico Alto	10.7	14.4	4.6	59.7	38.3	3.5
Tantima	34.4	6.1	2.3	37.5	60.3	7.2

Cuadro 2. Continuación

Tecolutla	13.4	6.1	3.9	70.9	29.1	4.4
Tuxpan	10.6	2.2	4.0	34.4	21.0	1.7
Ursulo Galván	2.4	0.4	3.2	10.6	2.4	0.9
Vega de Alatorre	4.9	3.0	6.0	11.8	5.8	4.6
Veracruz	3.7	0.5	6.0	4.5	1.3	0.5
Agua Dulce	4.6	1.8	5.9	52.8	2.3	2.2
Tatahuicapan de Juárez	13.2	3.3	16.3	8.7	21.0	19.9
Total de la entidad	11.5	3.1	5.4	23.2	15.4	4.6
Mínimo de la entidad	12.2	3.7	4.0	6.2	11.2	7.1
Máximo de la entidad	13.4	4.2	5.1	73.3	35.2	12.4

CONCLUSIONES

La alta exposición de los municipios costeros a los fenómenos hidrometeorológicos y la elevada vulnerabilidad social en muchos de ellos, unido a la falta de infraestructura para evitar el impacto de estos fenómenos, implica un alto riesgo, el cual podría ser mayor en el futuro, debido al aumento de la población en estas zonas y a los efectos del cambio climático. Por ello, es necesario incorporar en los planes de desarrollo municipal la gestión integral del riesgo y generar políticas públicas que permitan desarrollar capacidades en la población para enfrentar los riesgos y adaptarse al cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado dentro del proyecto “Vulnerabilidad hídrica en la región centro norte del Estado de Veracruz: El caso de la cuenca baja del Río Nautla”, financiado por el Programa de Estudios de Cambio Climático de la Universidad Veracruzana.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo Rosas, F., Luna-Díaz, A. (2006). Principales fenómenos meteorológicos que afectaron al estado en el año 2005. En: *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*. Tejeda, A. (coord.). Universidad Veracruzana, México.

- Bitrán Bitrán, D. 2001. *Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99*. Secretaría de gobernación y Centro Nacional de Prevención de Desastres, México.
- Cardona, O.D. 2001. Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Consejo del Sistema Veracruzano del Agua. (2001). *Marco de referencia*. En: programa hidráulico estatal. http://www.csva.gob.mx/phe/docs/II_Marco_de_Referencia.pdf
- García, J. 2010. Marco internacional y discusión de los conceptos de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático. En: Perú. Ministerio de Economía y Finanzas; Perú. Gobierno Regional de Piura; NU. Estrategia Internacional para la Reducción a Desastres (NU/EIRD); Deutsche Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) (Eds.), *Lecciones Aprendidas de la Gestión del Riesgo en Procesos de Planificación e Inversión para el Desarrollo*, 19/22 de julio de 2010, Lima, Perú. Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú, pp. 27-29.
- Gómez, M.A. 2010. Marco conceptual bajo el cual se han desarrollado las experiencias de gestión del riesgo y adaptación al cambio climático en el Perú. En: Perú. Ministerio de Economía y Finanzas; Perú. Gobierno Regional de Piura; NU. Estrategia Internacional para la Reducción a Desastres (NU/EIRD); Deutsche Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) (Eds.), *Lecciones Aprendidas de la Gestión del Riesgo en Procesos de Planificación e Inversión para el Desarrollo*, 19/22 de julio de 2010, Lima, Perú. Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú, pp. 33-35.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Censo General de Población y Vivienda 2010. México, INEGI. México.
- Lavell, A. 2010. La integración de la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático en los procesos de inversión pública y planificación a nivel regional y mundial. En: Perú. Ministerio de Economía y Finanzas; Perú. Gobierno Regional de Piura; NU. Estrategia Internacional para la Reducción a Desastres (NU/EIRD); Deutsche Gessellschaft für

Technische Zusammenarbeit (GTZ) (Eds.), *Lecciones Aprendidas de la Gestión del Riesgo en Procesos de Planificación e Inversión para el Desarrollo*, 19/22 de julio de 2010, Lima, Perú. Cooperación Alemana al Desarrollo – Agencia de la GIZ en el Perú, pp. 30-31.

Ochoa Martínez, C., Utrera Zarate, A. y Pérez Elorriaga, R. (2006). Precipitaciones intensas en el estado de Veracruz durante 2005. En: *Inundaciones 2005 en el estado de Veracruz*. Tejeda, A. (coord.). Universidad Veracruzana, México.

Pereyra Díaz, D., Gómez Romero, L., Pérez Sesma, J.A. (2002). Escurrimientos máximos estimados para las cuencas de los ríos Tecolutla y Bobos del 3 al 9 de octubre de 199. *Revista Higiene* 4(2): 1-7.

FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO EN CUENCAS Y HERRAMIENTAS PARA LA CONSERVACIÓN

**Oscar A. Viramontes Olivas
Víctor Manuel Gómez Reyes
Toutcha Lebgue Keleng
Ricardo A. Soto Cruz**

INTRODUCCIÓN

Históricamente la precipitación de agua sobre una cuenca hidrológica representa un elemento indispensable en el desarrollo de los pueblos. De igual forma se ha convertido en limitante en regiones áridas y semi-áridas como lo es la cuenca del río Conchos que produce recursos hídricos imprescindibles para el desarrollo del estado de Chihuahua, siendo la más importante en el norte de México (INEGI, 2009). Inicia en la Sierra Madre Occidental en el municipio de Bocoyna, en la parte alta, recorriendo valles centrales y agrícolas en su parte media y terminando en la porción baja donde se une al Río Bravo cerca del Parque Nacional del Big Bend y del área protegida del Cañón de Santa Elena. Todo ello representa una fuente de vida para el clima extremoso del estado que lo hace más vulnerable a la incidencia de sequías.

El dinamismo social y económico de la zona con 1.3 millones de habitantes, generó mayor demanda de agua, siendo la agricultura la actividad con mayor consumo, llegando hasta 90 % (CNA, 2001). Asimismo, el agua del río Conchos también ha sido utilizada para el pago de la deuda contraída de México con Estados Unidos, a partir del Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales del 3 de febrero de 1944, suministrando además este recurso a los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, ya en corrientes del río Bravo (Rodríguez, 2002). La deforestación, desecación, el sobre pastoreo y la consecuente erosión del suelo, influyeron al deterioro de bastas zonas de la cuenca, conduciendo a menor captación de agua de lluvia por la degradación de la cubierta vegetal, agregándose otros problemas como la contaminación con agroquímicos, descarga de desechos sólidos y aguas urbanas e industriales al río,

que han puesto en peligro de extinción a numerosos endemismos de sus aguas.

En la cuenca del río Conchos y cuencas de los ríos San Pedro-Conchos, Chuviscar y Sacramento, la información generada ha sido bien documentada, planteado la necesidad de rescatarla y protegerla, cuidando y monitoreando los recursos naturales, principalmente el hídrico. Murillo (2002) establece, la importancia de contar con herramientas matemáticas e informáticas que permitan predecir con precisión los volúmenes de escurrimiento a escala de cuenca con el propósito de tener una mejor planeación en el uso del agua que dependerá del buen estado de otros recursos, como es el bosque y el pastizal. Los modelos simples como, el Método Racional (Lloyd, 1906) permite determinar el caudal máximo de escurrimiento en una determinada sección de la red de drenaje de una cuenca, bajo el supuesto que este acontecerá para una lluvia de intensidad media máxima constante. De acuerdo con Treviño *et al.* (2002) el Método Racional, requiere como variables de entrada la intensidad de lámina para el tiempo de concentración de la cuenca, el área de captación y el coeficiente de escorrentía.

Antecedentes.

Relevancia de la cuenca del Río Conchos. Representa la fuente de agua más importante para las diferentes actividades agropecuarias, urbanas e industriales en el estado de Chihuahua, su cauce principal, atraviesa gran parte de la entidad, desde la Sierra Tarahumara, hasta el río Bravo en el municipio de Ojinaga (CNA, 2001a). Actualmente, la región enfrenta una problemática compleja debido a diversas acciones antropogénicas como la deforestación (parte alta); el sobre-pastoreo (cuenca media); sobreexplotación de acuíferos (parte baja); contaminación y cambios de uso del suelo en toda la rivera del Conchos. En este sentido, es importante conocer la función hidrodinámica de las corrientes de aguas superficiales y contribuir así, en el manejo y mejoramiento de la zona, prioritaria para el estado de Chihuahua (Miranda 2006).

Ciclo Hidrológico.

Abu (2006) menciona, que la circulación general del agua de los océanos hacia la atmósfera; de la formación nubosa a la precipitación; del escurrimiento hacia los lagos y ríos con destino a los mares; de la infiltración al subsuelo, de la evaporación hasta llegar nuevamente a condensarse en el cielo, constituye el ciclo hidrológico.

Cuando cae lluvia sobre la superficie del suelo, parte del agua es retenida temporalmente en depresiones superficiales del terreno por la vegetación y por objetos de intercepción como piedras y mantillo. No obstante, el agua infiltrada, puede percolar hasta zonas más profundas o ser almacenada subterráneamente y fluir como manantiales o incorporarse a los ríos, lagos o mares.

El agua no permanece estática, forma parte de un proceso dinámico de circulación entre los océanos, la atmósfera y la litosfera-biosfera de forma permanente (Chow *et al.*, 2000). Además, la cantidad de agua que fluye debido al fenómeno de sublimación es insignificante con relación al movimiento por procesos físicos como la evapotranspiración. Nanía (2003) menciona, que el 97.5 % del agua del planeta se encuentra en los océanos ($1.3 \times 10^9 \text{ km}^3$); 3 % ($2.2 \times 10^7 \text{ km}^3$), se distribuye en zonas polares, ríos, lagos y en el subsuelo. Las cifras anteriores, muestran que el recurso agua no es un elemento escaso en si, el problema está, que no siempre se encuentra disponible en el lugar oportuno.

Factores que intervienen en el ciclo del agua.

Esta dinámica cíclica está condicionada por factores como el viento, la cantidad e intensidad de la precipitación efectiva (a mayor intensidad, el impacto será superior sobre la superficie edáfica y menor su infiltración) debido a la rápida saturación de los poros en el suelo que dependerán de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación (Treviño *et al.*, 2002).

Treviño *et al.* (2005) indican, que actualmente el ciclo del agua es alterado por fenómenos macro y micro climáticos causados en gran medida por la acción del hombre. La remoción de la cubierta vegetal para ser transformada en sistemas de producción rentables, ha causado alteraciones en el flujo y en los procesos de evaporación del agua afectando la calidad y cantidad del vital líquido en las cuencas hidrográficas, las cuales, además de ser unidades de captación, deben de ser consideradas como unidades de manejo para los recursos naturales asociados.

Cuencas hidrográficas.

Cotler *et al.* (2007) la definen como, la unidad monográfica superficial delimitada por divisorias (“parteaguas”) de estas escurren aguas superficiales y donde las precipitaciones pluviales tienden a ser drenadas hacia un mismo origen. Al interior, las cuencas son divididas por Campos (1992) en pequeñas, medianas, grandes y muy grandes y son diferenciadas con base a sus características

funcionales (cabecera-captación y transporte-emisión) o por su nivel altitudinal (cuenca alta, media y baja). Asimismo, son de tipo exorreicas cuyas escorrentías superficiales van al mar; endorreicas, drenan a un cuerpo de agua interior y las arreicas, se caracterizan por presentar un drenaje superficial que se infiltra antes de encontrar un cuerpo colector.

Maldonado *et al.* (2001) se refieren a las cuencas hidrográficas como unidades territoriales donde funciona la combinación de un sistema hídrico que produce agua, simultáneamente con un subsistema económico y social, el capital, trabajo y tecnología. En ellas, se producen bienes y servicios agrícolas, pecuarios, forestales y recreativos que demandan las poblaciones localizadas aguas abajo. Rubio y Llorens (2003) indican, que las cuencas son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico que captan y concentran la oferta del agua que proviene de la precipitación. La cuenca es además, el área donde existe la interacción del agua en un proceso permanente y dinámico con los sistemas físicos (recursos naturales), bióticos (flora y fauna) y socioeconómicos (formados por usuarios de las cuencas y sus interacciones). Álvarez y Angeker (2007) asumen que las cuencas hidrográficas son cauces fluviales que pueden estar funcionando como aparato “excretor” de elementos químicos presentes en organismos, la atmósfera, el agua y los suelos de las cuencas. La presencia de estos elementos en el agua fluvial, es un indicador de cómo los factores ambientales que actúan sobre las cuencas hidrográficas, incluyendo los antropogénicos, inciden en la retención o exportación de productos y organismos. Al respecto, Nanía (2003) menciona que las características físicas de una cuenca, dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje), los tipos de suelo, cubierta vegetal, la geología, usos del suelo, los que influyen de manera decisiva en la respuesta hidrológica de la misma.

Procesos hidrológicos.

Precipitación. La mayor parte de las precipitaciones a escala mundial, ocurren sobre el mar. Dependiendo de las condiciones climáticas, estas se abaten sobre la tierra en forma de lluvia, nieve, humedad de niebla, granizo o escarcha (los dos últimos no son de mucha importancia con respecto al volumen de agua que precipita). Las lluvias que caen en forma de humedad de niebla, son importantes en zonas climáticas desérticas o semidesérticas (Braud *et al.*, 2004).

Escalante (2007) menciona, que la precipitación es medida con pluviómetros y se

expresa en altura o lámina de agua precipitada, de tal manera, que 1 mm de lluvia que cae sobre 1 m², representa 1 litro de agua. Estos datos, son fundamentales en la estimación del ciclo hidrológico, ya que permiten calcular la cantidad de agua captada por unidad de superficie. Cotler *et al.* (2007) indican que otro de los instrumentos de medición son los pluviógrafos y pluviómetros digitales, que permiten considerar la variable tiempo y a su vez, estimar la intensidad de lluvia, característica importante desde el punto de vista de erosión del suelo y la producción de escurrimientos. Sin embargo, medir la precipitación es común, pero presenta diferencias respecto a las cantidades que el suelo intercepta a partir de la vegetación, siendo hasta 40 % de la cantidad pluvial que fluye por los troncos, según la intensidad del viento (Escalante-Sandoval, 2007).

Escurrimiento. Definido por Viramontes *et al.* (2006) como el movimiento superficial del agua en el suelo y dependerá de las características físicas (capacidad de campo, textura, porcentaje de saturación, porosidad, contenido de materia orgánica, conductividad hidráulica y otros, pudiendo ser modificadas por las actividades humanas como la labranza y deforestación que modifican el comportamiento hidráulico de los suelos (Álvarez y Angeler, 2007).

Está bien documentada la importancia que tiene la Sierra Madre Occidental como fuente de agua para el Centro-Oeste y Norte de México y por la producción ganadera y la explotación del bosque que se da en la región. Aquí también, se genera la mayor parte de los escurrimientos que llegan al río Bravo provenientes de la cuenca del río Conchos, destacando su importancia hidrológica y estratégica nacional (Descroix *et al.*, 2001). Tapia *et al.* (2002) indican, que más del 60 % de los recursos hídricos y de suelo en el país, se encuentran degradados en situación de moderada a severa. Desde 1960, los bosques templados y tropicales en México, se redujeron de 30 y 75 %, respectivamente. La erosión edáfica causada por la deforestación, se ha identificado como una de las principales causas del deterioro de las cuencas y la República Mexicana, ocupa el tercer lugar entre los países con mayores tasas de deforestación (World Water Resources Institute, 1994).

Murillo *et al.* (2002) mencionan, que el escurrimiento se presenta cuando la intensidad pluvial excede la capacidad de retención de humedad del suelo, asociados con las condiciones edáficas, basadas en factores que pueden degradarla como el sobre pastoreo, cambio de uso de suelo, la agricultura convencional que

ha modificado el equilibrio hidrológico, conduciendo a una mayor pérdida de partículas superficiales, disminuyendo la productividad edáfica incrementando la erosión y el azolve en lagos, ríos y presas (Tapia *et al.*, 2002).

Sánchez *et al.* (2005) establecen una relación estrecha entre el escurrimiento superficial y la velocidad de infiltración del suelo, la capacidad de almacenamiento del agua y la distribución de la intensidad de lluvia durante una tormenta. Bajo condiciones normales, el escurrimiento se genera cuando la intensidad de lluvia es mayor que la velocidad de infiltración edáfica, conduciendo esto al desprendimiento y transporte de partículas sólidas; a ésta acción el suelo responde con una resistencia en función del nivel de sus propiedades físicas (Cortina *et al.*, 2004).

Infiltración. Proceso mediante el cual, el agua penetra en el suelo a través de aberturas y poros de tamaño variable en sentido vertical descendente. La tasa de infiltración, se define como el flujo de agua por unidad de tiempo que penetra desde la superficie del suelo (Sánchez *et al.*, 2005). En condiciones naturales, la infiltración depende de: las características intrínsecas del medio (porosidad y granulometría) y de fuerzas derivadas de la gravedad y la presión capilar asociadas al avance del frente de humedad en los horizontes inferiores. Esta compleja representación física, está definida por la ecuación de Richards (1931) que la combina con la de continuidad de la ley de Darcy, bajo la suposición de que la relación lineal entre la densidad del flujo de masa y el gradiente hidráulico permanece válida para flujos no saturados.

Sin embargo, el suelo es generalmente heterogéneo y las diferencias texturales y de permeabilidad, son sustanciales entre los estratos, lo que provoca un aumento de la incertidumbre sobre los patrones de flujo descritos en la zona insaturada (Nanía, 2003). La respuesta de infiltración estará sujeta a una amplia variabilidad definida por las diferentes combinaciones posibles de cada uno de los condicionantes físicos y no físicos del proceso, generando incertidumbre en su predicción y posterior relación con la variación de humedad en el suelo. Rubio y Llorens (2003) indican, que la obtención de datos de campo sobre infiltración ofrecen ventajas respecto a la aplicabilidad de esquemas conceptuales o de laboratorio; sin embargo su interpretación es compleja.

Sí el objetivo a determinar es el proceso en sí, los datos reflejarán la variabilidad

del fenómeno para un área específica en relación a todos los parámetros que lo controlan, permitiendo la búsqueda de relaciones significativas entre ellos en un contexto real (Návar y Synnott, 2000).

Por último, Corradini *et al.* (2000) exponen que la infiltración se presenta como uno de los fenómenos que definen la variabilidad del contenido de humedad del suelo y determinan la entrada al sistema suelo-planta, disponible para el desarrollo vegetativo. La humedad edáfica, por sí sola, es capaz de modificar las propiedades físicas del medio y, por tanto, de alterar el comportamiento de la infiltración. Así, su respuesta estará sujeta a una amplia variabilidad definida por las diferentes combinaciones posibles de cada uno de las condicionantes físicos y no físicos del proceso, llegando a generar una elevada incertidumbre en su predicción y posterior relación con la variación de la humedad del suelo (Sánchez, 2006).

Evaporación. Miranda (2006) menciona, que la evaporación es una de las variables hidrológicas importantes al momento de establecer el balance hídrico de una determinada cuenca hidrográfica o parte de esta. En este caso, se debe distinguir entre la evaporación desde superficies libres y la evaporación desde el suelo. Por su parte, Sánchez (2006) la define como un proceso físico que consiste en el pasaje lento y gradual de un estado líquido hacia un estado más o menos gaseoso en función de un aumento natural o artificial de la temperatura, lo que produce influencia en el movimiento de las moléculas, agitándolas. Con la intensificación del desplazamiento, las partículas escapan hacia la atmósfera transformándose consecuentemente en vapor. La tasa de evaporación de la superficie del suelo húmedo y desnudo, es determinada por factores meteorológicos y en particular por la energía disponible para cambiar el agua líquida en vapor. En estas condiciones, la evaporación es determinada por el proceso atmosférico o por la rapidez del movimiento del agua hacia la superficie del suelo (Torres *et al.*, 2005).

Transpiración. Del total del agua absorbida por el sistema radicular de una planta, solo una porción de esta, permanece en los tejidos de la misma; virtualmente, el total del agua retorna a la atmósfera en forma de vapor por transpiración. Este proceso es importante como mecanismo principal por el cual, el agua precipitada sobre la superficie de la tierra regresa hacia la atmósfera (Miranda, 2006). Es difícil estudiar el balance hídrico de una cuenca hidrográfica, separando la

evaporación y transpiración, por ello, la mayoría de los estudios contemplan a los dos fenómenos físicos en conjunto (Sánchez *et al.*, 2005).

Movimiento del Agua en el Suelo.

El movimiento del agua a través del perfil del suelo, es dominado por las características físicas del sistema edáfico; este flujo es gobernado por diferentes factores: el gravitacional, el capilar y el hidráulico. En un suelo no saturado, el movimiento del agua está dado por la conductividad hidráulica y la sortividad como el agua sólo se trasmite a través de poros, la velocidad del flujo que circula es directamente proporcional al diámetro de los mismos. A parte del efecto geométrico, es aún en mayor grado para los poros pequeños debido a que la movilidad de las moléculas de agua unidas a las partículas sólidas es muy baja por los efectos de adsorción (Viramontes *et al.*, 2008). Como conclusión, Cunningham (2008) menciona que las condiciones de saturación completa o parcial en suelos de textura gruesa, presentan mayor conductividad hidráulica, como consecuencia del tamaño de los poros que permiten mayor transmisividad del agua.

Conductividad hidráulica (Kh). Es un parámetro esencial en la determinación cuantitativa del movimiento del agua en el suelo, la cual, es afectada por la textura y estructura del suelo, siendo mayor en superficies altamente porosas, fracturadas o agregadas y menor en suelos densos y compactados, así como por el exceso de sodio (Na⁺) presente o adicionado en el suelo (Traviño *et al.*, 2005). Por su parte Auki y Sereno (2005) mencionan, que la Kh es la habilidad del suelo para conducir agua bajo un gradiente de potencial hidráulico, no obstante, la determinación experimental de este parámetro, no resulta fácil, por esta razón, se realizan numerosos intentos para representarla mediante ecuaciones paramétricas sencillas. Barreto *et al.* (2003) indicaron, que cuando una fuente de agua se pone en contacto con la superficie del suelo, las etapas iniciales del movimiento de esta hacia el interior del perfil son dominadas por las propiedades capilares del mismo. Bajo condiciones estacionarias, el flujo de agua es dominado por un factor gravitacional, uno de capilaridad del suelo y otro hidráulico.

Dafonte *et al.* (2003) reconocen, que la Kh es un factor importante que afecta la infiltración de agua en el suelo y es necesario como parámetro de entrada en los modelos hidrológicos. Además, es un elemento clave para analizar o modelar el flujo de agua y sustancias químicas del suelo. La variabilidad espacial de la Kh

del suelo debe considerarse en los modelos hidrológicos distribuidos, debiendo representar correctamente el comportamiento de la infiltración y la generación de escorrentía de origen superficial o sub-superficial dentro de una cuenca de drenaje (Auki y Sereno, 2005).

Algunas propiedades hidráulicas del suelo de mayor impacto, que permiten cuantificar el tamaño, la distribución y continuidad de la red de poros, son: la K_h , a saturación, la relación entre el potencial métrico, contenido hídrico y la sortividad edáfica que es una medida de la habilidad que tiene un suelo de absorber agua durante el proceso de la humectación; estas propiedades son necesarias en estudios de erosión, balance hídrico y producción vegetal (Sánchez *et al.*, 2005). La K_h puede mostrar una correlación alta con las variables topográficas, sobre todo en una cuenca, debido a que la topografía tiene efectos en los procesos de erosión y deposición de partículas en el desarrollo del perfil y de la estructura del suelo. Las variables topográficas, son de fácil obtención a partir de un modelo de elevación digital, en caso de estar correlacionadas con la K_h pueden ayudar a mejorar la estimación de la misma utilizando técnicas geoespaciales (Barreto *et al.*, 2003).

Producción de sedimentos. En zonas áridas y semiáridas del norte-centro de México, los fenómenos de escurrimiento superficial como erosión hídrica y producción de sedimentos, se atribuyen a las características propias de la lluvia, como las propiedades físicas de los suelos, relacionados con el flujo de agua sobre y dentro de éstos (Belmonte y Nuñez, 2006). La interacción entre las variables anteriores y la modificación de las propiedades del suelo por efectos de la lluvia, determinan aspectos fundamentales relacionados con las pérdidas de lámina y volumen de escurrimiento, tiempo de concentración, tiempo de inicio de escurrimiento y producción de sedimentos (Navarrete, 2004). Por su parte, Tapia *et al.* (2000) definen la producción de sedimentos, como el flujo total de sólidos disueltos y suspendidos en agua de escurrimiento de una cuenca de drenaje durante un tiempo determinado. No toda la pérdida del suelo se deposita en el sistema de las corrientes, puede ocurrir en diversos sitios de la cuenca.

Torres *et al.* (2005) menciona que existen diferentes métodos de estimación de producción de sedimentos y nutrientes asociados; entre los más comunes, consisten en multiplicar la estimación de erosión obtenida a partir de la USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo); sin embargo, el método presenta

inconvenientes debido a que el modelo fue elaborado con base a experiencias conducidas en pequeñas parcelas.

Existen otros procedimientos, como el SDR (*Sediment Delivery Ratio*) que estima la cantidad de suelo erosionado que alcanzan los cuerpos de agua en experimentos de campo, asociado con el monitoreo de sedimentos (Torres *et al.*, 2000). Por su parte, Rosano (2001) trabajaron con el modelo paramétrico AGNPS (*Agricultural Nonpoint Source Pollution Model*), que estima la producción de sedimentos y nutrimentos asociados con tierras agrícolas, generando importante información relacionada con los efectos de la erosión en superficies sobre pastoreadas.

Encostramiento. El escurrimiento superficial, se atribuye a la formación de una costra en la parte exterior del suelo, el espesor de esta varía de un milímetro a varios centímetros y se origina por la acción combinada de la energía cinética, que es la caída de la gota de lluvia sobre el suelo y el efecto dispersivo de la precipitación, virtualmente desprovista de electrolitos. Martínez y Walthall (2001) indican, que la dispersión de agregados en los suelos por factores físicos o químicos durante el encostramiento o endurecimiento edáfico, es el resultado de una alteración de la morfología de la superficie del suelo.

La porosidad, distribución del tamaño de las partículas y su orientación, son reportadas como las características morfológicas más afectadas durante la formación de costras (Moñino, 2004). Este endurecimiento ocurre como una secuencia de dispersión de partículas edáficas; el uso de acondicionadores del suelo, tales como: yeso fosfórico y polímeros orgánicos, los que se han evaluado en un intento para estabilizar los agregados y prevenir la destrucción de su estructura. Por su parte Pinedo *et al.* (2007) mencionan, que el uso de coberturas vegetales u orgánicas son reportadas como un efectivo medio para la prevención de la dispersión del suelo, causada por el impacto de las lluvias. Este, fue evaluado en términos de parámetros de física de suelos, tales como infiltración, dureza de la costra y emergencia de plantas. Sin embargo, la información disponible no es suficiente en estudios relacionados con en el uso de diferentes prácticas de manejo (Martínez y Walthall, 2000).

Consideraciones sobre el funcionamiento físico del suelo.

Densidad. Es la cantidad de partículas distribuidas en la estructura edáfica y se

encuentra relacionado con la textura. Se distinguen dos tipos: la densidad real o de partícula, que corresponde a la densidad de la fase sólida del suelo. Esta incluye el volumen de partículas y el vacío de los poros (Miranda, 2006).

Densidad aparente (D_a). Permite evaluar el efecto del manejo que se da al suelo. Además, este indicador, es necesario para referir los datos del análisis de laboratorio a un volumen de suelo en condiciones de campo, por ejemplo, la determinación de la cantidad de materia orgánica, nitrógeno total, cálculo de valores de densidad por suelo, la lámina de agua hasta una profundidad dada y el calculo de la porosidad total (Reyes, 2002).

Densidad real (D_r). Representa la masa real de un suelo por unidad de volumen, sin considerar el espacio poroso (Sánchez, 2006).

Porosidad total (PT). Es la relación que existe entre el volumen de huecos o poros conectados entre sí, y el volumen total de una muestra dada. La forma más simple de expresar esa relación de porosidad total, es:

$$PT = 1 - \frac{D_r}{D_a}$$

Esta relación, representa el volumen de poros del suelo por donde puede circular el agua dentro del suelo (Findeling, 2001).

Humedad edáfica. Indica la cantidad de agua presente en el perfil del suelo a una profundidad específica, estrato u horizonte en un momento determinado. La humedad edáfica en términos volumétricos es más conveniente para el diagnóstico, debido a que expresa claramente el volumen de suelo ocupado por agua, expresado de otra manera, dos suelos pueden tener la misma humedad gravimétrica (Reyes, 2002).

Materia orgánica (MO). La materia orgánica edáfica, formada por restos y productos de descomposición de plantas y animales son activamente descompuestos por la microflora y la micro fauna. No obstante, la mayor cantidad de MO en el suelo, es aportada por hojas, ramas y raíces, ayudando a una mayor retención de la humedad y reducción de la producción de sedimentos (Storck *et al.*, 2000).

Morfometría de una cuenca.

El proceso de caracterización de las propiedades morfométricas de la red de drenaje de una cuenca hidrográfica, es el primer paso en la búsqueda de las relaciones entre estas y las condiciones climáticas, geológicas e hidrológicas que determinan su evolución (Navarrete, 2004). Por su parte, González (2004) sugiere que el comportamiento del caudal y las crecidas dentro de una cuenca, forman un sistema que puede representarse cuantitativamente mediante índices del tamaño, área, longitud, forma, atributos de relieve y la conexión con la red fluvial que son importantes en la respuesta del caudal recibido y que pueden operar tanto, para atenuar, como para intensificar las crecidas.

El volumen de flujo y la velocidad de su movimiento, son razones matemáticas, utilizadas para caracterizar y comparar cuencas de diferentes tamaños (Murillo *et al.*, 2002). El uso de sistemas de información geográfica (SIG) y de otras herramientas capaces de analizar a partir de modelos digitales de elevación (MDE) las características morfológicas de una cuenca y la red de drenaje, representan una alternativa para manejar, planear y evaluar los recursos naturales de una zona (Pinedo *et al.*, 2007), siendo posible analizar y simular diversos procesos que ayuden a interpretar el origen y la dinámica de espacios naturales con una precisión razonable a bajo costo y tiempo reducido de operación, con el fin de procesar toda la información (Everitt *et al.*, 2006).

Modelación hidrológica en cuencas.

Belmonte y Núñez (2006) definen a los modelos, como la unificación de conceptos relacionados con un ecosistema hidrológicamente funcional que tenga la finalidad de hacer predicciones, simulando las propiedades temporales de un sistema real o simulado, siendo de forma física, análoga o digital, utilizándose ecuaciones matemáticas para determinar elementos de flujo del agua subterránea y superficial. Los modelos son una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática, siendo la primera, las relaciones que puedan existir entre el modelo y la realidad que representa, el tipo figurativo o simbólico; mientras que la segunda, el sistema real está representado por una expresión analítica (Rosano *et al.*, 2001).

Tapia *et al.* (2000) mencionan, que los modelos hidrológicos de simulación son una tecnología de predicción basada en procesos de hidrología y erosión; son herramientas valiosas para evaluar el efecto de las prácticas de manejo sobre

el ambiente, el escurrimiento, la erosión y la productividad. Los modelos en sistemas agrícolas poseen un marco apropiado para identificar cambios y tendencias significativas y desarrollar estrategias adecuadas de intervención o manejo alternativo (Domínguez *et al.*, 2005).

Gutiérrez *et al.* (2002) se refieren a los modelos como una serie de parámetros y variables, donde los primeros, describen los componentes geométricos como formas, espesores, áreas, volúmenes o sus componentes, como transmisibilidad y coeficientes de almacenamiento. En el caso de las variables, describen la situación del sistema en cada momento y pueden ser: el nivel de precipitación en una región, fluctuación de temperatura, concentraciones de soluto en suelo y otras.

Antecedentes de los modelos hidrológicos.

Murillo *et al.* (2002) señalan, que en la actualidad existe una diversidad de modelos, utilizados para analizar procesos hidrológicos en cuencas, sin embargo, el uso se remonta a 1856, cuando se describe la ecuación para el flujo de aguas subterráneas o Ley de Darcy. Décadas más tarde, se describió el flujo no estable de canal abierto desarrollado a partir de la ecuación de St. Venant. En 1960, los modelos computacionales empezaron a surgir como una herramienta para recrear escenarios en aguas superficiales y el transporte de sedimentos, tal es el caso del Modelo de Cuencas de Stanford, que representa la respuesta de la totalidad de una cuenca sin tomar en cuenta la caracterización de la variabilidad espacial de una determinada zona, utilizando parámetros que no tienen relación con las características físicas superficiales observables, con la desventaja de la enorme utilización de tiempo para correrlo.

Storck *et al.* (2000) mencionan, que los modelos hidrológicos son ampliamente utilizados en Estados Unidos para medir precipitación (Sistema de Predicción Ripario) del Servicio Meteorológico Nacional; el Modelo de Cuantificación de la Humedad del Suelo de Sacramento que es un derivado del Modelo de Cuencas de Standford. Durante la década de 1970, se desarrollaron modelos para calidad de aguas superficiales y subterráneas; para 1980 para transporte de aguas subterráneas. Finalmente, Karamalegos (2006) indica que en la actualidad existen diferentes modelos hidrológicos, desde aquellos que son sencillos, hasta los más complejos que requieren una diversidad de variables y parámetros para

analizarlos computacionalmente, permitiendo una diversidad de escenarios que apoyan a la investigación tendiente al mejoramiento de los recursos naturales, además de la conservación de las cuencas hidrológicas a través de simulación de escenarios para resolver distintas problemáticas presentes en una determinada zona.

Importancia de los modelos hidrológicos.

Permiten disponer de indicadores cuantitativos para evaluar el efecto ecológico y económico que tendrán distintas condiciones de manejo sobre las cuencas hidrológicas antes de ser llevados a la práctica. En este sentido, Lobo *et al.* (2002) menciona que los modelos hidrológicos muestran un desarrollo importante en todas las áreas del conocimiento humano, como el estudio de los recursos naturales (hidrología, agricultura, ecología, erosión, planeación y manejo del bosque, biología), astronomía, medicina y otras ciencias, radicando su importancia en buscar y encontrar respuestas cuantitativas; interpolando, extrapolado, simulando y prediciendo los fenómenos físicos que ocurren en la naturaleza. Por su parte, Torres *et al.* (2000) coinciden al señalar que los modelos de simulación son herramientas auxiliares en la investigación que permiten generar datos a partir de variables de interés, para acelerar el procesos en la toma de decisiones o tener una idea científica de los resultados, ya la modelación, es más que una prueba cuantitativa de una hipótesis, siendo en las ciencias físicas por más de un siglo; sus objetivos, son orientados a la determinación eficiente y precisa de los componentes del ciclo hidrológico en una cuenca y estimar así el comportamiento y la magnitud del agua en diversos escenarios (Herrera *et al.*, 2007).

Las etapas que deben integrarse en un modelo hidrológico, según Lobo *et al.* (2002) son la identificación, calibración, validación y límites de aplicación. En la primera, se definen las variables de interés, la hipótesis y supuestos del modelo en función de sus objetivos y la precisión de los resultados; en el caso de la segunda, se evalúa y estiman los valores del modelo mediante la ayuda de observaciones respecto a los requerimientos de entrada y las respuestas de salida. La validación, compara la respuesta teórica obtenida de la información a través de la imagen (figura, símbolo, ecuación). En este caso, el valor de las entradas y salidas utilizadas deben ser diferentes de aquellas que sean tomados para la calibración del modelo. Los límites de aplicación son especificados en el marco dentro del cual fue desarrollado el modelo, por ejemplo, los límites

físicos y/o analíticos más allá de los cuales el uso del mismo puede ser adecuado o inadecuado (Herrero *et al.*, 2005).

Gelmi y Seoane (2004) mencionan, que una vez aplicado un modelo hidrológico y definido el objetivo del mismo, es imperativo comenzar con su diseño que significa la inclusión de todos los pasos para la selección del código o programa a utilizar, el diseño del modelo (diseño experimental), la calibración, el análisis de sensibilidad y las predicciones del fenómeno bajo estudio. Maderey-Rascón *et al.* (2000) clasifican en tres grupos los modelos hidrológicos: determinísticos, estadísticos y de sistemas. En el caso del segundo (que se aplicará en esta investigación), son modelos de regresión y correlación, que permiten desarrollar relaciones numéricas funcionales mediante el tratamiento estadístico de los datos experimentales y los transforman y/o cuantifican en términos de coeficientes de correlación, límites de confianza y pruebas de significancia. En este tipo de modelos, la información utilizada es de forma discreta (variable que describe la naturaleza de la información en términos de elementos individuales en forma de números enteros). La información utilizada para calibración, debe ser independiente del tiempo utilizado inicialmente (Lobo *et al.*, 2002).

Ventajas y desventajas de los modelos hidrológicos.

Herrero *et al.* (2005) destacan las ventajas al trabajar con modelos de simulación, entre las que se cuentan: el poder modificar patrones naturales para analizar diferentes escenarios; determinar las características generales del área en estudio; permiten el mejoramiento del conocimiento de la hidrografía general en zonas a evaluar; permiten calcular espacios alrededor de las cuencas bajo estudio; predicen impactos relacionados a la hidrología en diferentes escenarios; analizan los daños a los recursos naturales que tienen que ver directamente con los procesos de retención, filtración y escurrimiento de agua; pueden analizar los riesgos ambientales; determinan la dirección de los patrones de flujo de posibles contaminantes; ayudan a entender mejor y visualizar la simulación de diferentes escenarios; en algunos casos la simulación es la única manera de lograr la solución a problemas; los modelos, permiten predecir el comportamiento de los flujos de aguas subterráneas bajo políticas distintas o iguales a los que están sujetos naturalmente y calculan las condiciones de flujo bajo distintos regímenes de extracción, permitiendo, representaciones idealizadas de sistemas compuestos por un conjunto de elementos físicos que interactúan de acuerdo a las leyes que los gobiernan, y que permiten simular su comportamiento (Gutiérrez *et al.*, 2002).

Por su parte, Foresman, (2006) expone algunas desventajas atribuibles al uso de modelos hidrológicos, como: son costosos que requieren tiempo para ser desarrollados y validados; se requieren varias corridas para encontrar una buena solución, aumentando los costos; es difícil revisar si los modelos simulados resultan adecuados al momento de realizarlos, por lo que se requiere en algunos casos, suficiente tiempo para verificar si las simulaciones son correctas. La solución de un modelo de simulación, es influenciada por el analista. La mayoría de estos, requieren cantidad de información y sin garantía que funcionen bien en condiciones diferentes a las utilizadas durante su desarrollo, de ahí, que sea posible la conducción de estudios tendientes a la validación de estos, comparando los resultados con datos reales, medidos en estaciones registradoras ubicadas en una cuenca (Carreón *et al.*, 2001).

Calibración y validación de los modelos.

Torres *et al.* (2005) indicaron, que definido el objetivo del modelo es necesario comenzar su diseño, incluyendo la selección del código o programa a utilizar, la calibración, el análisis de sensibilidad y las predicciones; en este sentido, la calibración permite ajustar los datos observados y calculados, mediante el cambio en los valores de los parámetros de mayor influencia aún de aquellos considerados como conocidos. Para Rosano *et al.* (2001) la validación en un modelo, es la capacidad predictiva, comparando los datos (calculados y observados) con los parámetros determinados en la fase de calibración, en un período diferente. El ajuste entre los datos (observados y calculados) obtenidos durante la validación es menos satisfactorio que el obtenido durante la calibración, pero es más representativo de la exactitud de predicciones que se hagan con el modelo. Morales *et al.* (2000) afirman que el uso de modelos hidrológicos sin previa calibración y validación, conducen a una subestimación de las variables estudiadas. La calibración, permite lograr un ajuste satisfactorio de la dinámica y magnitud entre los datos (observados y medidos), así la capacidad predictiva verdadera de un modelo es mayor a la de un modelo sin previa calibración.

Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las Cuencas.

Los antecedentes de los SIG, datan de varias décadas atrás. Foresman (2006) representan a esta herramienta una tecnología básica, imprescindible y poderosa para capturar, almacenar, manipular y presentar datos espacialmente referenciados.

Además son importantes en el análisis de las cuencas hidrográficas al facilitar la colecta de información; delimita las áreas de estudio; ayudan a visualizar regiones y facilitan el modelamiento y análisis de datos. Navarrete (2004) destaca, la importancia de los SIG en el estudio de las cuencas en lo específico; en la delimitación de las mismas y en la planeación de proyectos, generando criterios para la localización de una jerarquía hidrográfica a nivel local, regional y nacional. Por su parte, Moreno (2006) menciona, que las unidades de trabajo en los SIG están dadas con la descomposición de la realidad en capas relativas a un ámbito concreto del modelo del territorio a trabajar, dividiéndose en raster y vectorial, caracterizándose el primero, como una unidad espacial estándar, que es el píxel, que permite representar un fragmento espacial. El vectorial, utiliza las figuras de la geometría convencional, como puntos, líneas, curvas, polígonos, círculos, elipses o volúmenes para representar las entidades del mundo real.

Relación de SIG con modelos hidrológicos.

Carreón *et al.* (2001) consideran, que la utilización de la tecnología satelital impacta en todas las áreas del conocimiento, en el caso del monitoreo y evaluación de los recursos naturales, es una herramienta determinante en el manejo, análisis, modelación y despliegue de datos espacialmente referidos y dirigidos a la solución de innumerables problemas de manejo y planeación de los recursos existentes en áreas forestales, agropecuarias y urbanas. Asimismo, debido a su efecto repetitivo, las imágenes de satélite permiten dar seguimiento a los cambios de uso de suelo y vegetación. Además, al utilizar los SIG permiten efectuar análisis de datos geográficos de imágenes de satélite, mapas o información de campo georeferenciada ayudando a monitorear y analizar procesos que influyen en la degradación de los ecosistemas (Maldonado *et al.*, 2001).

Por su parte Storck *et al.* (2000) indican, que los SIG y el estudio hidrológico, cuentan con principios fundamentales que interactúan entre sí, como la descripción del medio ambiente hídrico y la manera de cómo se afectan los aspectos físicos y antropogénicos en el flujo del agua a través del ciclo hidrológico. Para Herrero *et al.* (2005) el estudio integral de una cuenca y su evolución, implica la ordenación y análisis de gran cantidad de datos espacialmente distribuidos y variables aleatorias en el tiempo. La evolución de los SIG, ha permitido de estos programas, elementos de análisis y consulta de una gran cantidad de procesos. La facultad para gestionar y manipular bases de datos geográficos, permiten desarrollar modelos asociados para el estudio físico, espacial y temporal de

diferentes procesos.

Por su parte Wurbs y James (2002) encontró que un modelo integral de una cuenca debe de aglutinar de manera eficiente la utilización de estos modelos definidos por separado, pero simultáneos e indisolubles de la realidad, permitiendo estimar correlaciones con las mediciones reales tomadas en el sistema dentro de su programa de monitorización con datos de campo y permitan, ajustar así el modelo y plantar escenarios futuros, simulando efectos intermedios y finales de cada escenario en cantidad, calidad de agua, entre otros (Treviño *et al.*, 2005).

Modelos Digitales de Elevación (MDE).

Wurbs y James (2002) definen a los MDE como la estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de la altitud de una variable cuantitativa, como puede ser: la temperatura, precipitación, humedad y la presión atmosférica. A partir del modelo y la combinación con diferente información SIG, es posible generar mapas de pendiente del terreno, de visibilidad e imágenes en perspectiva. Su proyección, puede ser en unidades UTM (*Universal Transversa de Mercator*; Datum NAD27 o ITRF92), según lo refiere INEGI (2002).

Método racional.

Belmonte y Nuñez (2006) mencionan, que la estimación del volumen de agua producido a partir del flujo superficial de una cuenca, es necesario para el análisis de los factores que intervienen en la producción del líquido, los que se distribuyen espacialmente a partir del análisis de los SIG, aportando una diversidad de funciones de análisis que permiten simular las diversas variables utilizadas en la estimación de parámetros hidrológicos. Básicamente, el empleo adecuado de dichas funciones, hace posible la implementación de mecanismos efectivos para la estimación de parámetros de uso frecuente en la clasificación de las cuencas hidrológicas (Torres *et al.*, 2000).

Maldonado *et al.* (2001) señalan que los factores de impacto que influyen en el volumen de agua producto de los escurrimientos en una cuenca, son agroclimáticos, entre ellos se consideran: la cantidad, intensidad y duración de la lluvia; la distribución de la precipitación con respecto del área de la cuenca; la densidad de su red hidrológica y su capacidad de evaluación; las condiciones propias de la superficie del terreno influenciadas por la geología; el tipo de

suelo, impermeabilidad; las condiciones de humedad; prácticas de cultivo; intercepción de lluvia por la vegetación; valores de evapotranspiración y la humedad atmosférica, además de otros de carácter fisiográfico (extensión, forma y pendiente media de la cuenca).

Viramontes *et al.* (2008) encontraron que el análisis geográfico, permite modelar la cantidad de precipitación interpolando la información proveniente de estaciones meteorológicas. Las técnicas más utilizadas para este fin, consisten, en la creación de matrices de datos obtenidos a partir de modelos de regresión múltiple o a través de estimaciones climáticas realizadas por interpolación, y calcular así un promedio ponderado, asignando mayor peso a la estación más cercana de acuerdo con el inverso de la distancia al cuadrado (Torres *et al.*, 2000).

Wurbs y James (2002) utilizaron imágenes de satélite para la cartografía de vegetación y la definición en la ocupación del suelo, mostrando uno de los principales campos de percepción remota que permiten, estimar: las superficies ocupadas por tipo de vegetación; la relación existente entre los procesos de deforestación detectadas por esta tecnología, integrando a la vez, datos climáticos; estimando parámetros ambientales como cocientes e índices de evapotranspiración; medir la cantidad de agua interceptada por la vegetación y los coeficientes de aprovechamiento de agua en diferentes cultivos.

Storck *et al.* (2002) realizaron estimaciones de la intercepción total de la lluvia para el matorral espinoso y para bosques de clima templado, tomando como base modelos analíticos; de esta manera, el análisis de la información topográfica en forma digital ha sido ampliamente utilizada para la descripción y clasificación de cuencas, permitiendo caracterizar y generar los cursos de drenaje y clasificar los órdenes de las corrientes con base en modelos digitales de elevación.

Otros modelos permiten delimitar las cuencas; caracterizar el relieve para el cálculo de caudales máximos y la red de drenaje. El conocimiento de las variables anteriores y, calculadas con la ecuación presentada por Rubio y Llorens (2003) se deriva un coeficiente de escurrimiento ponderado para la cuenca, obtenido a partir de coeficientes de escorrentía generados para cada condición de vegetación, suelo, pendiente y superficie. Una vez obtenido ese coeficiente, se relaciona con la superficie de la cuenca y la precipitación, permitiendo estimar el volumen

medio escurrido, punto central de esta investigación.

CONCLUSIONES

- 1) La importancia en la conservación de las cuencas hidrológicas como unidades productoras de agua, ha sido un tema relevante en los últimos años, ya que dependen de varias actividades naturales y antropogénicas necesarias para que se desarrollen los ciclos vitales.
- 2) Las necesidades de agua en las zonas desérticas, han aumentado en la medida que las poblaciones crecen, aunado a la falta de promoción de una cultura en educación ambiental.
- 3) La degradación de los recursos naturales, ponen en peligro la integridad natural de la cuencas, por esto, es necesario realizar estudios que tengan que ver con la conservación del suelo y el mantenimiento de la cubierta vegetal, fundamentales para evitar los escurrimientos y la sedimentación.
- 4) La utilización de la herramienta geoespacial bajo las condiciones generales de la cuenca, ha sido una alternativa viable, permitiendo hacer diversos trabajos de modelación a partir de la problemática de la zona que nos ayuden a tomar decisiones que favorezcan la preservación de los recursos naturales a futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Abu Zreig, M. 2006. Runoff and erosion control of silt clay soil with land application of polyacrylamide. Arch. Agron. Soil Sci. 52: 289-298.
- Álvarez Cobelas, M. y D.G. Angeler. 2007. Exportación de nutrientes en las cuencas hidrográficas de Latinoamérica: una recopilación. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 3 (1): 31-43 p.
- Auki, A.M., R. Sereno. 2005. Modificaciones de la conductividad hidráulica y porosidad del suelo estimadas mediante infiltrómetro de disco a tensión. Agricultura Técnica, Chile. 65 (3): 295-305 p.

- Barreto, F.L., H.O. Caravallo y H.R. Ghey. 2003. Conductividad hidráulica en un suelo aluvial en respuesta al porcentaje de sodio intercambiable. *Revista Brasileña de Engenharia Agrícola Ambiental*. Vol (7): 403-407 p.
- Belmonte, S. y V. Nuñez. 2006. Desarrollo de modelos hidrológicos con herramienta SIG. *Internacional Review of Geographical Information Science and Technology*. Vol (6): 15-17 p.
- Braud, I., D. De Condappa, J. M. Soria, R. Haverkamp, R. Angulo-Jaramillo, S. Galle y M. Vauclin. 2004. Use of scaled forms of the infiltration equation for the estimation of unsaturated soil hydraulic properties (the Beerkan method). *Eur. J. Soil Sci.* doi: 10.1111/j.1365-2389.
- Campos, A. 1992. Proceso del Ciclo Hidrológico. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1ª ed. San Luis Potosí, México. 22-23 p.
- Carreón, H.E., C. Pinedo y A. Lafón. 2001. Aplicación de la tecnología geoespacial en el estudio de cuencas: Caso río Conchos. XI Congreso Nacional de Irrigación, Simposio 5. Manejo Integral de Cuencas. Guanajuato, Gto, México. 150-155 p.
- Chow, V.T., D.R. Maidment y L.W. Mays. 2000. Hidrología aplicada. McGraw-Hill, Bogotá. 110-112 p.
- CNA. 2001a. Comisión de Cuenca del Río Conchos. Diagnóstico Versión 1.0 Gerencia Estatal Chihuahua, Chihuahua, México: 36-37 p.
- Corradini, C., F. Melone and R.E. Smith. 2000. Modeling local infiltration for a two-layered soil under complex rainfall patterns. *Journal of Hydrology*. (237): 58-73 p.
- Cortina J., A. Vilagrosa, R. N. Caturla, F. T. Maestre, E. Rubio, J. M. Ortiz de Urbina y A. Bonet. 2004. Páginas 345-406 en Restauración en semiárido. Avances en el estudio de la gestión del monte Mediterráneo. Vallejo V.R., Alloza J.A., Eds.
- Cotler, H., Garrido A., R. Mondragón, A. Díaz. 2007. Delimitación de cuencas hidrográficas de México, a escla 1:250,000, INEGI-INE-CONAGUA. Documento técnico. México. 35 p.
- Cunningham, L. M. 2008. Sediment transport & vegetation change: A study using medium-scale landscape units as indicators of the influence of a vegetation transition on sediment production. Dissertation. University of Leicester, Leicester, LE1 7RH, Reino Unido.

- Dafonte, D. J., P. González, T. Castro, R.S. Vieira. 2003. Variabilidad espacial de la conductividad hidráulica saturada de campo medida con Permeámetro Guelph. *Temas de Investigación en Zona no Saturada*. Eds. J.J. López M. Quemada. 121-122 p.
- Descroix, L., D. Viramontes, M. Vauclin, M. González-Barrios, J.L. Esteves. 2001. Influence of surface features and vegetación on runoff and soil erosion in the western Sierra Madre (Durango, North West Mexico). *Catena*, Vol. 43, Num (2): 115-135 p.
- Domínguez, A.A., J.L. Oropeza-Mota, E.V. Palacios y J.S. Garfias. 2005. Study simulated hydrodynamic response in the acambay valley aquifer. *Agrociencia* 39: 246-258 p.
- Escalante-Sandoval, C. 2007. Estimación de lluvias de diseño con distribuciones exponenciadas y exponenciales mezcladas en la Costa de Chiapas. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol (22): Número (4): 103-113 p.
- Everitt, J.H., C. Yang, R.S. Fletcher and D.L. Drawe. 2006. Evaluation of high-resolution satellite imagery for assessing rangeland resources in South Texas. *Rangeland Ecol. Manage.* 59 (4):30-37 p.
- Findeling, A. 2001. Etude de la modelisation de certains effets du semis direct avec paillis de residus sur les bilan hydrique, thermique et azote de une culture de maïs pluvial au Mexique. These Docteur Montpellier, Ecole Nationale du Genie Rural de Eaux et Forets: 355 p.
- Foresman, T. 2006. The history of geographic information systems: perspectives from the pioneers. Upper Saddle River, Prentice Hall. En: *Sistemas y análisis de la información geográfica, manual de autoaprendizaje con ArcGis*. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid. Ed. Alfaomega. 13-15 p.
- Gelmi, M.E., R.S. Seoane. 2004. Aplicación de un modelo de calidad de agua y definición de criterios para el monitoreo de un fertilizante en una cuenca rural. *Ingeniería del Agua*. Vol. 11, No. 4.
- González, M. A. 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. *Boletín de la A.G.E.* No. 38. 311-329 p.

- Gutiérrez Carrillo, N., E.V. Palacios, S.D. Peña, and O.L. Palacios. 2002. Stages for sustainable uses of the Queretaro valley aquifer. *Agrociencia* 36: 1-10 p.
- Herrera, S.C., A.I. Villalba, M.E. Molinar-Tabares. 2007. Modelación hidrogeológica y evaluación de la sustentabilidad del acuífero transfronterizo del Río San Pedro en Sonora, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 3 (1): 21-30 p.
- Herrero, J.L., M.I. Rodríguez y A.B. Avilés. 2005. Modelos integrales de cuencas hidrográficas y prognosis de escenarios de gestión en SWAT aplicado a la cuenca del Guadalfeo. Grupo de Ríos y Embalses, Universidad de Granada, España. 120-123 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009 Anuario Estadístico de Chihuahua. Edición 2009. México. <http://www.inegi.org.mx/>. Consultado Dic. 22, 2010.
- Karamalegos, M. A. 2006. "Particle size distribution of highway runoff and modification through stormwater treatment." Master Thesis, UT Austin. CRWR online report. 5-10 p.
- Lobo, A., J. Herrero, O. Montero, M. Fantelli y I. Tejero. 2002. Modeling for environmental assessment of municipal solid waste landfills (Part 1: Hydrology). *Waste Management and Research*, 20(2): 198 – 210 p.
- Madrey-Rascón, L.E., F.C. Navarro y L.C. Godínez. 2000. Relationship between the watery phenomena and the main thermic elements in México. *Agrociencia* 35: 23-40 p.
- Maldonado de León, O.A., O.L. Palacios, J.L. Oporeza, R. G Springall y D.S. Fernández. 2001. Empleo del modelo SWRRB para generar alternativas de manejo en la cuenca Itzapa, Guatemala. *Agrociencia* 35 (3). 335-345 p.
- Maldonado de León, O.A., O.L. Palacios, J.L. Oporeza, R. G Springall y D.S. Fernández. 2001. Empleo del modelo SWRRB para generar alternativas de manejo en la cuenca Itzapa, Guatemala. *Agrociencia* 35 (3). 335-345 p.
- Martínez Gamiño, M.A. y P.M. Walthall. 2001. Cambios morfológicos durante el encostramiento de la superficie en suelos de México y Louisiana, EU. *TERRA, Latinoamericana*. Vol (18), 3: 187-197 p.

- Miranda, N.E. 2006. Caracterización hidrodinámica del suelo superficial en la cuenca media alta del río Conchos. Tesis de licenciatura, Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Moñino, A. 2004. Trabajo de campo. Informe Técnico X.2, en estudio piloto para la gestión integrada de una cuenca hidrológica del río Guadalfeo. Grupo de Ríos y Embalses, Universidad de Granada, España. 24-26 p.
- Morales, R.L., O.L. Palacios, L.S. Marín and S.D. Peña. 2000. Flow direction and ground water classification in Monte Alegre, Sierra del Ajusco, México. *Agrociencia* 34: 677-687 p.
- Moreno, A.J. 2006. Sistemas y Análisis de la Información Geográfica, Manual de Autoaprendizaje con ArcGis. 1ª ed. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid. Ed. Alfaomega. 40-45 p.
- Murillo, S. 2002. Estudio del efecto del cambio de uso de suelo en el escurrimiento en la Subcuenca 24bf Monterrey, aplicando un sistema de Información geográfica. Tesis, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey. 10-12 p.
- Nanía, L.S. 2003. Hidrología superficial: La cuenca y los procesos hidrológicos. Curso académico, ingeniería hidráulica. Universidad de Granada, España. 4-5 p.
- Návar, J. y T.J. Synnott. 2000. Soil infiltration and land use in Linares, N.L., Mexico. *TERRA, Latinoamericana*. Vol 18 (3): 252-262 p.
- Navarrete, M. D. 2004. Propuesta metodológica para el análisis territorial en la cuenca hidrográfica del Estero El Peral, Comuna de Carahue, Informe de resultados en IX Región de Chile. Universidad Católica de Temuco, Chile. Facultad de Ciencias Ambientales.
- Pinedo, A.C., A.A. Pinedo, R.M. Quintana, S.M. Martínez. 2007. Análisis de áreas deforestadas en la región centro-norte de la Sierra madre Occidental, Chihuahua, México. *Tecnociencia* Vol (1): 37-38 p.
- Reyes Gómez, V.M. 2002. Quantification et modelisation des flux hydriques, thermiques, et azotes dans les systemes de culture en semis direct avec couverture vegetale dans la region des cerrados bresiliens. Docteur del 'Universite Montpellier 2. Paris Francia : 4 – 254 p.

- Richards, L.A. 1931. Capillary conduction of liquids through porous mediums. *Physics Vol (1)*: 318-333 p.
- Rodríguez, J.A. 2002. La cuenca del río Bravo y el Tratado Internacional de Aguas de 1944. Comisión Nacional del Agua. 14-18 p.
- Rosano-Méndez, L., L.P. Rendón, P.H. Pacheco, J.B. Etchevers, J.M. Chávez y H.H. Vaquera. 2001. Calibration o fan hidrology model applied in the technology irrigation by gravity. *Agrociencia 35*: 577-588 p.
- Rubio, C. y P. Llorens. 2003. Uso de funciones de edafotransferencia para la determinación de propiedades hidrodinámicas de los suelos en una cuenca experimental. En: *Estudios de la zona no saturada del suelo. Vol (VI)*: 137-142 p.
- Sánchez, P.B. 2006. Caracterización hidrodinámica del suelo superficial en la cuenca media y baja del río Conchos. Tesis de licenciatura, Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Sánchez, R., S.C. Sánchez. A.L. Sánchez, M.G. Benítez y L.C. Alatorre. 2005. Efectos del manejo del suelos en la infiltración en una aforestación con *Quercus ilex L.* en un área semiárida de agricultura de temporal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales Vol (1)*: 3-19 p.
- Storck, P., L. Bowling, P. Wetherbee y D. Lettenmaier. 2000. Application of a GIS-Based distributed hydrology model for prediction of forest Harvest effects on Peaks Streamflow in the Pacific Northwest. <http://www.ce.washington.edu/~pxs/gis.html>.
- Tapia, V., L. M. Tiscareño L., J. Salinas R., M. Velázquez V., A. Vega P., H. Guillén A.. 2002. Respuesta de la cobertura residual del suelo a la erosión hídrica y la sostenibilidad del suelo en laderas agrícolas. *TERRA Latinoamericana*, vol. 20: (4) 449-457 p.
- Tapia, V., M.L. Tiscareño, J.L. Oropeza, J.J. Stone and M. V. Velásquez. 2000. Runoff and sedimenty yields simulation Ander five soil management practices. *Agrociencia 34*: 663-675 p.
- Torres, E.B., J.L. Oropeza y D.S. Fernández. 2000. Aplicación del modelo SWAT en la cuenca “El Tecolote”, Atlacomulco, estado de México. X Congreso acional de Irrigación de Cuencas Hidrológicas. Anei, A.C.

- Torres Benites, E., E.S. Mejía, J.B. Cortes, E.V. Palacios y A.G. Exebio. 2005. Adaptación de un modelo de simulación hidrológica a la cuenca del río Laja, Guanajuato, México. *Agrociencias* 39: 481-490 p.
- Treviño, E. J., C. A. Muñoz R., C. Cavazos C. y L. Barajas Chávez. 2002. Evaluación del flujo hídrico superficial en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. *Ciencia Universidad Autónoma de Nuevo León, México*. 5: 525-530 p.
- Treviño, E. J., C. A. Muñoz R., C. Cavazos C. y L. Barajas Chávez. 2002. Evaluación del flujo hídrico superficial en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas. *Ciencia Universidad Autónoma de Nuevo León, México*. 5: I
- Román-Calleros, A. Pérez-Márquez, C. Pinedo-Álvarez, P. B. Sánchez-Fernández y N. Miranda-Ojeda. 2008. Hidrología de los suelos de las cuencas media y baja del río Conchos, Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 4: 31-45 p.
- World Water Resources Institute. 1994. *A Guide to the Global Environment: People and the Environment*. Oxford University Press. New York, USA. 15-30 p.
- Wurbs, R. y W.P. James. 2002. *Water resources engineering*. Prentice Hall. Englewood Cliff. 21-24 p. 525-530 p.
- Treviño, E., O.A. Aguirre, W. Salinas, X. Némiga, J.V. Chávez. 2005. Evaluación Internacional de Ciencias de la Tierra. 2:123-127 p.
- Treviño, E., O.A. Aguirre, W. Salinas, X. Némiga, J.V. Chávez. 2005. Evaluación de la producción de agua usando modelos de análisis geográfico. *Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*. 2:123-127 p.
- Viramontes, D., L. Descroix y A. Bollery. 2006. Variables de suelos determinantes del escurrimiento y la erosión en un sector de la Sierra Madre Occidental. *Ingeniería Hidráulica en México IMTA, Cuernavaca, Morelos*. Vol (21). Núm (1): 73-83 p.
- Viramontes Olivas, O. A., V. M. Reyes-Gómez, L. F. Escoboza-García, J. A. Román-Calleros, A. Pérez-Márquez, C. Pinedo-Álvarez, P. B. Sánchez-Fernández y N. Miranda-Ojeda. 2008. Hidrología de los suelos de las cuencas media y baja del río Conchos, Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 4: 31-45 p.

World Water Resources Institute. 1994. A Guide to the Global Environment: People and the Environment. Oxford University Press. New York, USA.15-30 p.

Wurbs, R. y W.P. James. 2002. Water resources engineering. Prentice Hall. Englewood Cliff. 21-24 p.

CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL, BALANCE HÍDRICO Y CONFLICTOS SOCIALES POR DERECHOS DE AGUA ENTRE USUARIOS DE LAS CUENCAS DEL RÍO YAQUI Y DEL RÍO SONORA, EN EL NOROESTE DE MÉXICO

González, R.
Marín, L.E.
Dévora, G.E.
Fonseca, M.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es el cambio del clima provocado de forma directa o indirecta por la actividad humana capaz de alterar la composición de la atmósfera de forma adicional a la variación del clima que se presenta de forma natural a través de períodos de tiempo comparables (Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, Nueva York, 9 de mayo de 1992).

La acumulación de gases en la atmósfera, como el CO₂, CO, metano, entre otros, permiten que la energía calorífica continúe llegando a la Tierra, pero a su vez actúan como partículas confinantes de gran parte de la energía reflejada que debería ser devuelta al espacio exterior, con la consecuente modificación de las condiciones climáticas del planeta. Es por esto que se les denomina gases de efecto invernadero.

La actual hipótesis de cambio climático por efecto invernadero cuenta con un tesis incuestionable: la superficie terrestre es en la actualidad más cálida que hace tres décadas. Y este hecho lleva asociado dos procesos complementarios: la reducción de la cubierta de hielo y nieve y el aumento comprobado del nivel del mar en algunos sectores planetarios.

La comunidad científica internacional agrupada en el denominado Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), ha declarado que los gases de invernadero son los responsables del incremento de temperatura y que

de continuar la presente tendencia, en el año 2030 se duplicaría la presencia de gases de efecto invernadero en la tropósfera terrestre, repercutiendo en el aumento de temperatura entre 1.5 y 4.5 °C y en la elevación del nivel del mar de 20 a 140 cm.

Este es, sin duda, el verdadero problema del cambio climático que en este trabajo se investiga y cuyo objetivo es el pronóstico de la precipitación y de las captaciones en la cuenca del río Yaqui, en el Noroeste de México, así como realizar el balance que guardan las cuencas del río Yaqui y Sonora, para determinar si se puede permitir un transvase intercuenca para transferir excedentes de agua a la cuenca del río Sonora para uso potable en la ciudad de Hermosillo, sin afectar la sustentabilidad de la cuenca cedente de sus recursos hídrico. La Figura 1 muestra la localización de ambas cuencas (INEGI, 2000).

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que todas y cada una de las cuencas tienen que tender hacia buscar su propia sustentabilidad a través de acciones como cosecha de agua de lluvia, reuso del agua, recarga artificial de acuíferos con agua de lluvia y/o aguas residuales tratadas, reducir el consumo del agua, controlar las fugas, buscar ser más eficiente en la agricultura, industria, uso público urbano, etc.

Cada día los “trasvases intercuenca”, es decir, el tomar agua de una cuenca para llevarla a otra cuenca se vuelven menos y menos populares. Por ejemplo, hace algunos años en España, cientos de miles de ciudadanos se volcaron en manifestaciones de protestar en contra del trasvase del río Ebro (URL: dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=566688).

Lo anterior también ocurre en México, e incluye procesos judiciales abiertos en diversos tribunales agrarios y de distrito, con algunos proyectos hidrológico de trasvase intercuenca como es el caso del Acueducto Independencia, Monterrey IV, El Zapotillo, La Parota, y Cutzamala, entre otros (URL: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/110-2001.tp.html#a3). Hay que resaltar que en México, el Gobierno Federal, desde que organizó la celebración del Día Mundial del Agua de 2010, asumió ante el mundo el compromiso de trabajar unidos gobierno y sociedad en la formulación de la Agenda del Agua 2030 (CONAGUA, 2010), de tal forma que permita consolidar una política de sustentabilidad hídrica

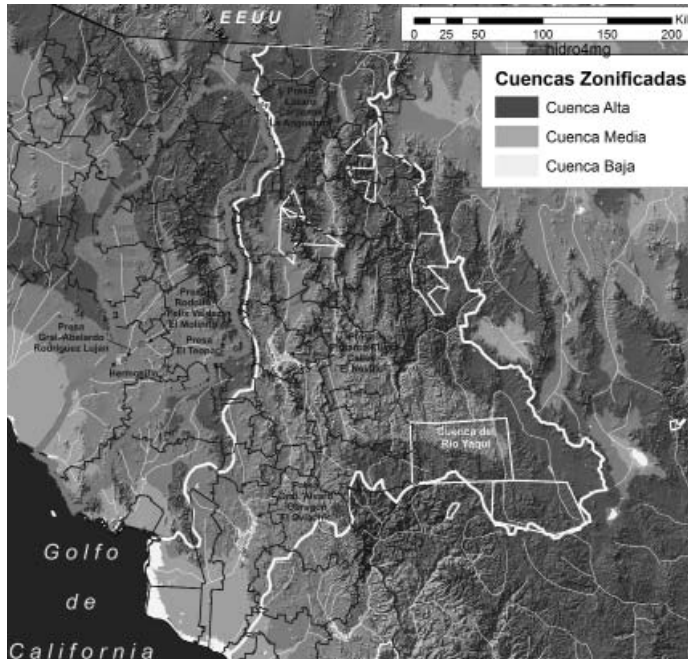


Figura 1. Cuencas hidrológicas de los ríos Sonora y Yaqui. La cuenca del río Sonora se localiza íntegramente en el Estado de Sonora (a la izquierda en línea sólida de color rojo) y la del Yaqui con mayor área en el Estado de Sonora, incluye parte del estado de Chihuahua, Arizona y Nuevo México (a la derecha en línea sólida de color amarillo).

y entregar a la siguiente generación un país con ríos limpios, cuencas y acuíferos en equilibrio, cobertura universal de agua potable y alcantarillado y asentamientos seguros frente a inundaciones catastróficas. Parte del hecho de haber desarrollado rigurosos estudios técnico-prospectivos, y realizado cientos de reuniones en todo el país y recogido y procesado un gran número de iniciativas procedentes de todos los sectores de la sociedad. Señala que la amplitud de la participación demuestra que el agua está en la conciencia y en las preocupaciones de todos los mexicanos, y que los desafíos del agua son grandes y complejos, pero superables, si se actúa con determinación y unidad y si el esfuerzo se despliega de forma consistente y continuada, sumando voluntades, capacidades y recursos, para así cambiar el modo tradicional de relacionarnos con el agua; sin verla como un recurso inagotable, sino como un bien escaso y costoso que es necesario manejar responsablemente para nuestro beneficio y para el de las futuras generaciones.

Respecto a las cuencas en equilibrio, la agenda señala que el país presenta un desequilibrio entre disponibilidad hídrica y demanda, y que existen cuencas donde se utiliza un bajo porcentaje del agua total disponible, y otras en que utiliza más del 100%. Actualmente se demandan 78,400 millones de metros cúbicos, para cuyo abastecimiento se recurre a 11,500 millones de metros cúbicos de volumen no sustentable; en el escenario inercial esta brecha se duplicaría en un lapso de 20 años. Asegurar el abastecimiento de la demanda de forma sustentable requerirá inversiones del orden de 306 mil millones de pesos al 2030, que deberán ser aportados por los distintos actores que intervienen en la gestión del agua. Las iniciativas que pueden apoyar de forma más relevante el logro de cuencas y acuíferos en equilibrio son:

- i) Dar un papel más relevante a los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) en la gestión de los acuíferos;
- ii) Fortalecer la organización y funcionamiento de los Consejos de Cuenca y sus órganos auxiliares;
- iii) Robustecer las funciones de gobierno de CONAGUA y su organización regional;
- iv) Involucrar a las Asociaciones Civiles de Usuarios de Riego y a los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas en el impulso del ahorro de volúmenes y tecnificación del riego;
- v) Formular reglamentos para la distribución de las aguas superficiales por cuenca y por acuífero, y
- vi) Reforzar los sistemas de medición y verificación del cumplimiento de los volúmenes concesionados y autorizados en un año agrícola.

Por otra parte, el Gobierno Federal, indica que en México para poder cumplir con las anteriores iniciativas, se requieren inversiones anuales superiores a los 50 mil millones de pesos para actuar principalmente en medidas de incremento de eficiencias del uso agrícola y del público urbano. Además señala que no actuar implica crecientes costos de oportunidad, tan solo por demanda industrial no satisfecha que alcanzaría órdenes de magnitud de 1.5 billones de pesos anuales al 2030. El escenario tendencial corregido por el impacto del cambio climático incrementaría la brecha a 36.3 miles de millones de metros cúbicos, es decir, 13.3 miles de millones de metros cúbicos más. Esto obligaría a intensificar y ampliar las medidas de bajo costo y a incluir medidas infraestructurales de alto costo, lo que obligaría a efectuar inversiones adicionales por 246 mil millones

de pesos al año 2030. Al respecto, recomienda la instrumentación de un fondo de contingencia que asegure la disponibilidad y la oportunidad de uso de los recursos en tan cuantioso orden de magnitud. No obstante el dinero no es la única dificultad a superar, ni la más compleja. La mayoría de las iniciativas que forman parte de la Agenda del Agua 2030 tienen que ver con reasignación de atribuciones legales, desarrollo de capacidades e instrumentación de incentivos para fortalecer el sistema nacional de gestión del agua en sus ámbitos general, y regional.

El avance en el cumplimiento de la Agenda del Agua debe evaluarse anualmente y presentarse en el mes de marzo de cada año en ocasión del Día Mundial del Agua; una valoración de resultados e impactos debe ocurrir cada seis años y debe ser la base para una actualización integral de dicho instrumento. La Agenda del Agua 2030 es un instrumento para la cabal implementación de una política de sustentabilidad hídrica. Con ella deben alinearse los Programas Nacionales Hídricos, los Programas Regionales Hídricos, las carteras de inversiones del gobierno federal y de los gobiernos de los estados, los presupuestos de egresos fiscales en materia hídrica y los programas de cultura del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para establecer las condiciones de equilibrio hídrico que guardan las cuencas estudiadas, se realizaron los balances hidrológicos a las cuencas de los ríos Yaqui y Sonora, de acuerdo con lo establecido en la NOM-011-CNA-2000, conservación del recurso agua – que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, mismos que en función de sus resultados en cuanto a las condiciones de disponibilidad media anual de aguas nacionales, se establecen las medidas de conservación del recurso agua, como lo señala la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Para pronosticar el efecto del cambio climático global, se realizó la modelación estandarizada por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), a partir de datos hidroclimatológicos históricos de estaciones localizadas en la cuenca del río Yaqui, y de las condiciones de altitud que delimitan las partes alta, media y baja, así como el parteaguas. En la Figura 1 se observan las cuencas del río Yaqui y río Sonora.

Finalmente, en función de la disponibilidad de agua en ambas cuencas y del efecto generado en cuanto a temperatura y precipitación por el cambio climático global, se evaluó la factibilidad de transvasar 75 hm³ de agua anual desde la cuenca del río Yaqui hasta la ciudad de Hermosillo, localizada en la cuenca del río Sonora (CEA, 2010), tomando en cuenta los compromisos establecidos en la Agenda del Agua 2030 por el Gobierno de México, en cuanto a la explotación de los recursos hídricos para la sustentabilidad.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los últimos datos de disponibilidad media anual de aguas nacionales para las cuencas de los ríos Sonora y Yaqui disponibles, son los publicados en el Diario Oficial de la Federación el 24 de septiembre de 2007, mismos que se basan en los resultados del estudio realizado por la Universidad de Sonora en diciembre de 2005 (UNISON-CONAGUA, 2005). Por lo anterior, se considera que de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales (LAN) tales resultados perdieron vigencia desde diciembre de 2008, por lo que actualmente se encuentran obsoletos y no deben ser tomados en cuenta hasta en tanto el estudio sea actualizado y, según lo establecido en artículo 13 Bis 4 de la Ley de Aguas Nacionales, deberán ser consultados con los usuarios y con las organizaciones de la sociedad en el ámbito de los Consejos de Cuenca y, de preferencia, elaborarlos con la participación de asesores técnicos de éstos últimos. Al respecto las LAN en su Artículo 22, textualmente dice:

Artículo 22. "... El otorgamiento de una concesión o asignación se sujetará a lo dispuesto por esta Ley y sus reglamentos y tomará en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años, conforme a la programación hídrica; los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua; el reglamento de la cuenca hidrológica que se haya expedido, en su caso; la normatividad en materia de control de la extracción así como de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas; y la normatividad relativa a las zonas reglamentadas, vedas y reservas de aguas nacionales existentes en el acuífero, cuenca hidrológica, o región hidrológica de que se trate" ...

Bajo el supuesto de que el estudio de disponibilidad antes referido (UNISON-CONAGUA, 2005), conservara su vigencia, los resultados de los balances hidrológicos realizados a la cuenca del río Sonora se muestran en la Cuadro 1 para aguas superficiales y en el Cuadro 2 para aguas subterráneas, en cuanto a volúmenes de recarga y extracciones.

Cuadro 1. Balance anual de aguas superficiales de la cuenca del Río Sonora en millones de m³.

Cuenca hidrológica	Nombre y descripción	Cp	Ar	Uc	R	Im	Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
I	Río Sonora 1: Desde su nacimiento hasta la EH El Orégano II	139.71	0.00	51.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	87.74	87.74	0.00	0.00	Déficit
II	Río San Miguel: Desde su nacimiento hasta la EH El Cajón	38.30	0.00	4.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.21	34.21	0.00	0.00	Déficit
III	Río Sonora 2: Desde las EH El Orégano II y El Cajón Hasta la presa Abelardo Rodríguez Luján	77.58	121.95	7.84	0.00	0.00	89.70	40.36	-1.08	62.70	62.70	0.00	0.00	Déficit
IV	Río Sonora 3: Desde la presa Abelardo Rodríguez Luján hasta su desembocadura en el Mar de Cortés	183.58	62.70	160.01	0.00	0.00	86.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Déficit

ECUACIONES:

$$Ab = Cp + Ar + R + Im - (Uc + Ev + Ex + Av) \dots\dots\dots(1)$$

$$D = Ab - Rxy \dots\dots\dots(2)$$

Simnología :

Cp: Volumen medio anual de escurrimiento natural

Ar : Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba

Uc : Usos consuntivos

R : Volumen anual de retornos

Im: Volumen anual de importaciones

Ex: Volumen anual de exportaciones

Ev: Volumen anual de evaporación de embalses

Av: Volumen anual de variación de almacenamiento en embalses

Ab: Volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo

Rxy: Volumen anual actual comprometido aguas abajo

D: Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica

Cuadro 2. Balance de aguas subterráneas de la cuenca del río Sonora, en millones de m³.

Cuenca del río Sonora	Alta y Media	Baja	Total
Recarga	385.06	306.70	691.76
Extracción	-422.70	-501.80	-924.50
Balance	-37.64	-195.10	-232.74

Fuente: URL: http://www.ciad.mx/sonar_e-atlas/cuenca.htm

Partiendo de los resultados que genera el balance realizado, la cuenca del río Sonora presenta un déficit tanto en aguas superficiales como subterráneas que ponen en desequilibrio a la cuenca y que ninguna autoridad ha asumido su responsabilidad de regular. Este desequilibrio es de conocimiento pleno de la Comisión Nacional del Agua y la sobreexplotación del agua en esta cuenca es reportada históricamente en diversas publicaciones, donde se señala al sector agrícola como el principal responsable del extraer cantidades superiores a la recarga.

Por lo anterior, las fuentes de captación actualmente disponibles para la ciudad de Hermosillo no son suficientes, debido a que en esa cuenca se le ha otorgado menor prioridad al abastecimiento humano sobre el agrícola dado que, a este último sector se la ha concesionado un alto volumen en relación a la disponibilidad media de los escurrimientos y acuíferos de su propia cuenca, situación que ha generado la sobreexplotación que actualmente guardan las presas y acuíferos de la cuenca, mismos que indican condición de sequía hidrológica prolongada (URL: http://www.aguadehermosillo.gob.mx/inicio/downloads/organismo/agua_nums/indicadores_resumen2005-2010.pdf).

Para lograr la gestión integral del agua en la cuenca del río Sonora, con el fin de conservar y en lo posible incrementar los volúmenes disponibles para la cuenca media y baja, incluyendo la ciudad de Hermosillo, es necesario realizar un conjunto de acciones como a continuación se indica.

Se deberá empezar por implementar medidas tendentes a hacer un uso eficiente del agua de la que actualmente se dispone. Siendo el uso público urbano el que más padece por el déficit de la cuenca. Primeramente se deberán controlar las pérdidas físicas que se presentan por la presencia de fugas en las redes de

distribución. Aunado a lo anterior, se pueden controlar las presiones en las redes de distribución a través de su sectorización. Además se puede promover la sustitución de muebles e instalaciones hidráulicas de bajo consumo en todas las localidades urbanas, tanto en casas habitación, como en edificios públicos y comerciales. Estas medidas y otras específicas por uso, deberán ser implementadas por los establecimientos comerciales e industriales. Asimismo, se propone el intercambio de aguas de primer uso, por aguas residuales tratadas de la ciudad de Hermosillo, en usos que no requieran de agua con calidad potable, como es el caso de ciertos usos industriales, comerciales y, sobre todo, en el sector agrícola. Por último, y una vez que se hayan alcanzado eficiencias razonables en todos los usos, se puede pensar en el rescate de volúmenes ocupados para usos no prioritarios, para asignarlos al abastecimiento de agua potable.

En lo que respecta a la cuenca del río Yaqui, en ella se registra una precipitación que varía de 1800 mm en la zona serrana, hasta 200 mm en la parte baja. La precipitación media en el valle es de 280 mm. La precipitación media anual de la cuenca es de 511 mm, de acuerdo a los registros de precipitaciones, se presenta una disminución a partir de 1995 para iniciar un periodo de sequía hasta el 2006, con años extremadamente secos como en los años 1999, 2002 y 2003, este último afectó las disponibilidades de agua en las presas en el 2004. El volumen de escurrimiento medio anual del Río Yaqui es de 3,290 millones de m³.

La cuenca Río Yaqui cuenta con un total de 18 presas de almacenamiento, 10 derivadoras y 3,760 aprovechamientos subterráneos registrados en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) representados por pozos, norias y manantiales. Sobre el cauce del río, se encuentran: la presa Lázaro Cárdenas o Angostura, construida en el periodo 1936-1942 ubicada en el municipio de Villa Hidalgo; la presa Plutarco Elías Calles o El Novillo construida en el periodo 1959- 1964 que se localiza en el municipio de Soyopa; y la presa Álvaro Obregón u Oviáchic fue construida en el periodo 1947-1952 dentro del municipio de Cajeme, la cual es la abastecedora del agua para riego agrícola, industrial y doméstico del Valle del Yaqui. Dentro de las presas de almacenamiento, en el río Papigochic, afluente del río Yaqui, se localiza la presa Abraham González con una capacidad de 70 millones de m³ para riego del Distrito del mismo nombre que se localiza en el Estado de Chihuahua. Las capacidades de almacenamiento de las presas que benefician al valle del Yaqui se reportan en la Cuadro 3.

Cuadro 3. Capacidades de Almacenamiento de las principales presas del río Yaqui.

Año de terminación	Presa	Capacidad (hm ³)	Área de cuenca (km ²)
1941	Lázaro Cárdenas, Angostura	921	19,292
1965	Plutarco Elías Calles, Novillo	3,020	40,368
1952	Álvaro Obregón, Oviachic	3,227	11,792
Total		7,168	71,492

Fuente: Distrito de Riego Río Yaqui S. de R.L. e I.P. URL: <http://www.drryaqui.com.mx/directoriomodulos.html>

La mayor presa de almacenamiento en la cuenca es la Álvaro Obregón, y es de donde se extrae agua para las zonas de riego en los Distrito de Riego No. 41 Río Yaqui y No. 18 Comunidades Yaquis. La alimentación de los canales principales se realiza mediante dos presas derivadoras, la Chiculi y la de Hornos, la primera alimenta al canal principal Colonias Yaquis y deriva un volumen anual de 194.6 millones de m³ y la presa Hornos deriva al Canal Principal Bajo del Distrito de Riego 041, con un volumen anual de 1,211 millones de m³ (URL: <http://www.cajeme.gob.mx/en/Cajeme/Presas>).

Conforme a los principales regímenes de captación, la presa Lázaro Cárdenas (La Angostura) es una presa de invierno, lo que significa que cuando se recupera esta presa es en esta estación tanto por lluvias como por nevadas. Las demás presas, la Plutarco Elías Calles (El Novillo) y la presa Álvaro Obregón (Oviachic) se consideran como de verano. Por ello, dentro de las políticas locales de operación hidroagrícola es muy importante manejar la presa Plutarco Elías Calles con la mayor capacidad posible, porque es la que menor evaporación presenta debido a que el vaso se localiza en un sitio encañonado. Los vasos de las otras presas son más abiertos y presentan mayores pérdidas por este concepto, entonces lo conveniente para los usuarios agrícolas es, de ser posible, tener el máximo de agua en la presa Plutarco Elías Calles, para disponerla conforme al plan de riegos, con previa generación de energía eléctrica (URL: <http://www.dof.gob.mx/documentos/3561/sagarpa/sagarpa.htm>).

Las aguas de este sistema de presas se destinan principalmente al riego de tierras agrícolas del Valle del Yaqui, a los aprovechamientos agropecuarios en la cuenca alta, a la generación de electricidad en las presas Plutarco Elías Calles y

Álvaro Obregón, y al uso urbano en Cajeme y algunas localidades del Valle. La infraestructura de riego de la cuenca se encuentra concentrada a los Distritos de Riego existentes que son: 083 Papigochic en Chihuahua, 018 Colonias Yaquis 041 Río Yaqui en Sonora y a 386 pequeñas unidades de riego (URDERALES). Dentro de la gran planicie costera que forma el área de riego, por decretos presidenciales, se han establecido dos Distritos de Riego y una Ampliación a uno de ellos, mismos que sustentan la superficie regable y que son los siguientes (Cuadro 4):

1. EL DISTRITO DE RIEGO 018 COMUNIDADES YAQUIS. Formado por decreto presidencial del 30 de septiembre de 1940, publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 22 de octubre del mismo año, donde se estipula que la tribu Yaqui podrá disponer hasta de la mitad del caudal que se almacenará en la presa de la Angostura (Lázaro Cárdenas) para fines de riego de sus propias tierras. El escurrimiento promedio anual que se capta en la presa Lázaro Cárdenas registrado por CONAGUA para el periodo de 1964-2004 es de 525.60 millones de metros cúbicos por año, entregando anualmente un volumen del orden de 250 millones de m³ a las comunidades Yaquis. Cabe mencionar que aun no se ha formalizado la entrega a los usuarios de este distrito de riego para su operación por parte de CONAGUA.

2. DISTRITO DE RIEGO 041 RÍO YAQUI, Formado por decreto presidencial del 16 de noviembre de 1955, publicado el 16 de diciembre del mismo año, se establece al Distrito de Riego del Río Yaqui, Son., donde se declara de utilidad pública la construcción de las obras y fijan los linderos del perímetro de riego que comprenden aproximadamente 218,500 ha respetando en este decreto la aportación para el Distrito de Riego Colonias Yaquis.

3. AMPLIACIÓN DEL DISTRITO 041 RÍO YAQUI, Formado por decreto presidencial publicado el 4 de junio de 1982 para el máximo aprovechamiento del agua, Amplía al Distrito del Río Yaqui, en una área de 8,500 ha.

Cuadro 4. Decretos que fundamentan la obligación de proporcionar irrigación a tres áreas agrícolas.

Zona de riego beneficiada	Fecha de publicación Oficial	Superficie (ha)
DISTRITO DE RIEGO 018 COMUNIDADES YAQUIS	30 DE SEPTIEMBRE DE 1940	25,000
DISTRITO DE RIEGO 041 RÍO YAQUI	16 DE NOVIEMBRE DE 1955	218,500
AMPLIACIÓN DISTRITO DEL YAQUI	04 DE JUNIO DE 1982	8,500
TOTAL		252,000

Por lo que, la superficie de 252,000 hectáreas, queda amparada y con derecho de recibir aguas para el riego de diversos cultivos, principalmente de trigo (INIFAP, 2010).

En cuanto al balance de aguas superficiales realizado en 2005 por UNISON-CONAGUA con datos de 1964-2004 y publicados en el Diario Oficial de la Federación en 2007, se reportan en la Cuadro 5, que se muestra a continuación.

Cuadro 5. Balance anual de aguas superficiales de la cuenca del río Yaqui en millones de m³ (hm³/año).

Cuenca hidrológica	Nombre y descripción	Cp	Ar	Uc	R	Im	Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
VII	Río Bavspe: Desde su nacimiento hasta la presa Lázaro Cárdenas (La Angostura)	525.65	0.00	22.28	0.00	0.00	28.40	45.80	-9.31	438.48	437.78	0.70	0.70	Disponibilidad
VIII	Río Yaqui 1: Desde la presa Lázaro Cárdenas (La Angostura) hasta la presa Plutarco E. Calles (El Novillo)	2192.46	438.48	2741.40	2607.60	28.40	0.00	124.10	17.48	2383.96	2375.57	8.40	8.40	Disponibilidad
IX	Río Yaqui 2: Desde la presa Plutarco E. Calles (El Novillo) hasta la presa Alvaro Obregón (El Oviachic)	394.99	2383.96	1103.25	1099.40	0.00	0.00	201.22	-26.89	2600.78	2587.12	13.66	13.66	Disponibilidad
X	Río Yaqui 3: Desde la presa Alvaro Obregón (El Oviachic) hasta su desembocadura en el Mar de Cortés	49.60	2600.78	2655.44	19.08	0.00	0.00	0.00	0.00	14.02	0.00	14.02	14.02	Disponibilidad

Las ecuaciones y simbología de la Cuadro 5 corresponden a las de la Cuadro 1. Bajo el supuesto de que el estudio de disponibilidad antes referido (UNISON-CONAGUA, 2005) es vigente, la cuenca del río Yaqui presentan disponibilidad por lo que se encuentra en equilibrio y no se tienen los problemas de sobreexplotación en sus presas y acuíferos como ocurre en la cuenca del río Sonora y que presentan la mayoría de las cuencas hidrológicas del norte del Estado de Sonora.

Sin embargo, los resultados publicados son incorrectos, ya que el balance no se apegó estrictamente a lo establecido en la NOM-011-CNA-2000, ya que en el cálculo de la disponibilidad no es consistente en todas las subcuencas. En algunas de ellas se utilizó el término Uc, como el volumen extraído en las presas, siendo que lo correcto es utilizar el volumen comprometido en la cuenca a través de los títulos de concesión y asignación, consignados en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), según lo establecido en los numerales 4.2.8, 4.2.10 y 4.4.9 de la mencionada norma, que a la letra dicen:

4.2.8 El volumen anual concesionado de agua superficial se determina sumando los volúmenes anuales asignados y concesionados por la Comisión, mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos del Agua para la explotación, uso o aprovechamiento de agua en la cuenca hidrológica, limitaciones que se establezcan en las vedas y, si es el caso, los volúmenes correspondientes a reservas, conservación ecológica y reglamentos conforme a la Programación Hidráulica.

4.2.10 El volumen anual actual comprometido aguas abajo se determina como la parte de los escurrimientos de la cuenca hacia aguas abajo, necesarias para cumplir con los volúmenes asignados y concesionados por la Comisión, limitaciones que se establezcan en las vedas y, si es el caso, los volúmenes correspondientes a reservas, conservación ecológica, reglamentos y programación hidráulica.

4.4.9 La Disponibilidad de Agua Superficial aguas abajo de un embalse natural o artificial, se determina sumando los derrames del mismo volumen medio anual de escurrimiento natural generado entre el embalse y el sitio de interés, y restando el volumen anual actual comprometido aguas abajo del mismo sitio.

Este defecto al calcular la disponibilidad no sólo arroja serias dudas sobre los resultados, sino que invalida para todos los efectos legales y administrativos la publicación en comento y obliga a la autoridad del agua a reponer todo el procedimiento de cálculo y publicación del balance de aguas superficiales del río Yaqui.

Adicionalmente, las condiciones climatológicas de la región están sujetas

a fenómenos climáticos extremos con frecuentes periodos de sequía que han ocasionado problemas de abastecimiento a los usuarios de la cuenca, por lo que cualquier importación de agua que se pretenda enviar desde cualquier parte del sistema de presas de la cuenca del río Yaqui, como es el caso donde se pretende extraer 75 millones de m³ anuales (75 hm³/año) desde la presa Plutarco Elías Calles (El Novillo) para satisfacer las necesidades de agua de Hermosillo, impactará de forma negativa a los usuarios del agua del río Yaqui, dado que el agua se requiere para sostener las actividades productivas de valle del Yaqui, donde en primera instancia el sector primario será el más afectado.

El siguiente análisis demuestra como la “disponibilidad” de agua en la cuenca impacta a los volúmenes concesionados al sector agrícola aún sin el proyecto de extracción. De hecho, un comportamiento como el mostrado en la Figura 2, acusa claramente que no existe tal disponibilidad, ya que no se ha estado en condiciones de cumplir con el compromiso establecido en el REPDA, porque no ha habido suficientes escurrimientos en la cuenca para ello.

La Figura 2 muestra cómo los volúmenes entregados al Distrito de Riego 041 Río Yaqui (DRRY), regularmente son inferiores al que tiene concesionado para irrigación, el cual es por 1,910.69 millones de m³ ya que en los últimos 19 ciclos agrícolas sólo en cuatro se pudo dar cumplimiento al decreto de concesión. La situación más crítica se presentó en el ciclo agrícola de 2003, donde se utilizó un volumen de 255.4 millones de metros cúbicos que es inferior al 10% del que tiene derecho, de haber existido la extracción pretendida para Hermosillo, la reducción en el volumen entregado al DRRY sería mucho menor, reduciéndose a menos del 7% con respecto al volumen concesionado.

Por lo que, de realizarse la transferencia de volúmenes de agua de la cuenca del río Yaqui a la cuenca del río Sonora, es previsible que se generen las mismas condiciones de sobreexplotación que en esta última y que sólo ocasionará que ambas cuencas se vean afectas en sus recursos naturales, poniendo en riesgo la sustentabilidad del desarrollo económico presente y futuro de ambas regiones, que además se ve amenazado por los escenarios planteados ante los efectos de cambio climático global que pronostican la elevación de la temperatura y nivel del mar, además de una significativa reducción de la precipitación en la cuenca del río Yaqui, con la consecuente presencia de fenómenos meteorológicos extremos, como se muestra en la Figura 3.

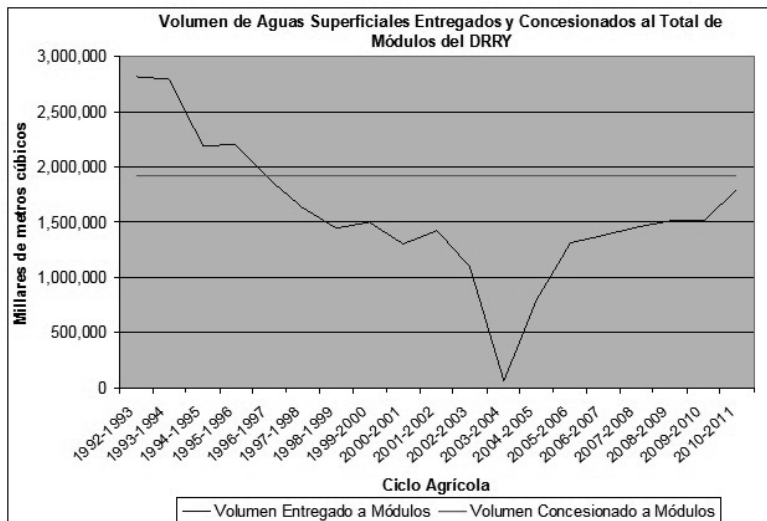


Figura 2. Comportamiento del agua utilizada para irrigación en el Distrito de Riego 041 Río Yaqui (DRRY). El eje de la izquierda corresponde a los valores del volumen de agua en millares de metros cúbicos y el eje inferior corresponde a los ciclos agrícolas desde 1992 a 2011. La línea de color azul corresponde al volumen recibido por el DRRY. La línea rosa corresponde al volumen anual concesionado al DRRY que es de 1'910,690 millares de m³.

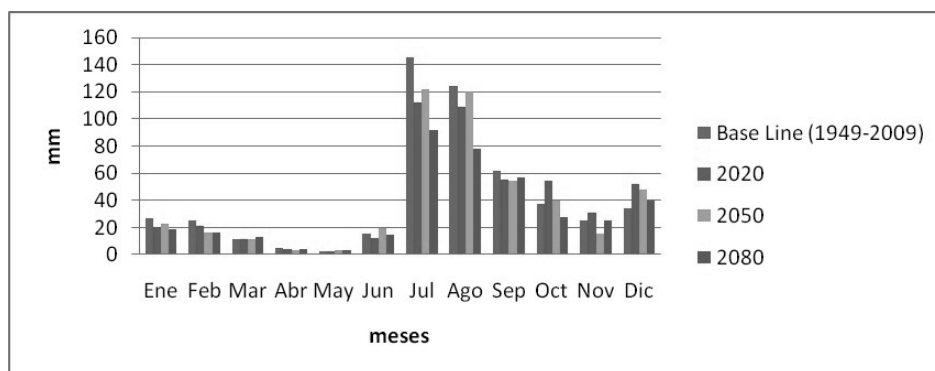


Figura 3. Modelo Precipitación SRES AR4 - CCCMA CGCM3 A1B "Oviachic". La línea base (Base Line 1949-2009, tomada de información oficial de CONAGUA) indica en color azul la precipitación promedio mensual en mm medidos en la estación climatológica de la presa El Oviachic, en un periodo de 60 años y el color rojo con la leyenda 2020 representa las precipitaciones proyectadas para la misma zona dentro de 8 años, el resto para los años 2050 y 2080.

Aplicando los modelos del IPCC, a los datos de la estación climatológica de la presa “El Oviachic”, los escenarios indican que las temperaturas aumentarán y las precipitaciones disminuirán. Los meses de julio, agosto y septiembre históricamente son los más lluviosos generados por el monzón de verano, observando claramente que en todos los escenarios, la precipitación va a disminuir de forma significativa durante el verano, solo en el mes de diciembre se observa que la precipitación se va a incrementar de forma poco significativa.

Por todo lo anterior, cualquier importación de agua que pretenda enviar en cualquier parte del sistema de presas de la cuenca del río Yaqui, como es el caso donde se pretende extraer 75 millones de m³ anuales desde la presa El Novillo para satisfacer las necesidades de agua de Hermosillo, impactará de forma negativa a los usuarios del agua, dado que el agua se requiere para sostener las actividades productivas de valle del Yaqui, donde en primera instancia el sector primario es el más afectado.

Por otra parte, el Gobierno Federal, según los compromisos establecidos en la Agenda del Agua 2030, indica que en México se requieren inversiones anuales promedio superiores a los 50 mil millones de pesos para actuar principalmente en medidas de incremento de eficiencias del uso agrícola y del público urbano, habrá que determinar lo correspondiente a invertir en las cuencas del río Yaqui y Sonora para alcanzar su autosustentabilidad real.

CONCLUSIONES

La cuenca del río Sonora está sobreexplotada en sus acuíferos y escurrimientos superficiales por el orden de 93.51 millones de m³, por lo que en la cuenca del río Sonora, no se debe permitir realizar nuevas o mayores extracciones; de hecho es conveniente restablecer el balance general de la cuenca hacia el equilibrio, a través de acciones como las anteriormente planteadas, con el fin de evitar una mayor sobreexplotación, con las consecuencias propias de este tipo de desequilibrio, sobre todo en las épocas de sequía por la que se está pasando actualmente en las Regiones Hidrológicas No. 8 y 9 donde se localizan las cuencas del río Sonora y río Yaqui.

La cuenca del río Yaqui presenta aparentemente disponibilidad de aguas superficiales por lo que se encuentra en equilibrio y no se tienen los problemas

de sobreexplotación en sus presas y acuíferos como ocurre en la cuenca del río Sonora y que presentan la mayoría de las cuencas hidrológicas del norte del Estado de Sonora. Sin embargo, los resultados publicados son incorrectos, ya que el balance no se apegó estrictamente a lo establecido en la NOM-011-CNA-2000 por lo que la disponibilidad no es real y existen dudas de veracidad del equilibrio, dado que en los últimos 19 ciclos agrícolas no se ha podido cumplir con los volúmenes concesionados a los agricultores de la cuenca baja. Además, por efectos del cambio climático global, se tendrá una mayor reducción en las captaciones de agua en presas, lo que va a afectar aún más al área de siembra y en consecuencia a la economía de la región, principalmente en los pobladores de la cuenca media y baja del río Yaqui.

Por lo anterior, se concluye que la pretensión de importar agua en cualquier parte del sistema de presas de la cuenca del río Yaqui, como es el caso donde se pretenden extraer 75 millones de m³ anuales desde la presa Plutarco Elías Calles (El Novillo), mediante el denominado Acueducto Independencia hasta la cuenca del río Sonora para satisfacer las necesidades de agua de la Ciudad de Hermosillo, pone en un mayor riesgo la sustentabilidad de la cuenca media y baja del río Yaqui, ya que impactará de forma negativa a los usuarios del agua, dado que el agua se requiere para sostener las actividades productivas de valle del Yaqui, donde en primera instancia el sector primario será el más afectado. Finalmente, para atender los problemas acentuados por la sequía y el cambio climático global, el Gobierno Federal, según la Agenda del Agua 2030, deberá asegurar el abastecimiento de agua de forma sustentable y va a requerir aplicar en la cuenca baja y media del río Yaqui, parte de las inversiones destinadas en todo el país, y que son del orden de 300 mil millones de pesos al 2030, y que deberán ser aportados por los distintos actores que intervienen en la gestión del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- CEA. 2010. Manifestación de impacto ambiental modalidad regional del proyecto “Acueducto Independencia”. Hermosillo, Sonora. Comisión Estatal del Agua del Estado de Sonora. Hermosillo, Sonora. Diciembre de 2010.
- CONAGUA. 2010. Agenda del Agua 2030. Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 70 p.

- INEGI. 2000. Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. La información además de impresa se puede obtener vigente el día 03 de enero del 2011 vía Internet en la siguiente URL: <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/son/rh.cfm?c=444&e=12>
- INIFAP. 2010. Guía técnica para los cultivos del área de influencia del campo experimental Valle del Yaqui. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Campo Experimental Valle del Yaqui. El día 9 de diciembre de 2010.
- NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua – que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación. México, D. F. 17 de abril de 2002.
- UNISON-CONAGUA. 2005. Estudio para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales en las cuencas de las regiones hidrológicas 08 y 09, Sonora Norte y Sur. Informe Final de la Universidad de Sonora para la Comisión Nacional del Agua. Hermosillo, Sonora. Diciembre de 2005.
- URL:http://www.aguadehermosillo.gob.mx/inicio/downloads/organismo/agua_nums/indicadores_resumen2005-2010.pdf El día de 29 de marzo de 2012
- URL: <http://www.cajeme.gob.mx/en/Cajeme/Presas> El día 6 de Diciembre de 2010
- URL: http://www.ciad.mx/sonar_e-atlas/cuenca.htm El día 3 de Diciembre de 2010
- URL: <http://www.dof.gob.mx/documentos/3561/sagarpa/sagarpa.htm> El día 6 de diciembre de 2010
- URL: <http://www.drriyaqui.com.mx/directoriomodulos.html> El día 3 de diciembre de 2010
- URL: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/l10-2001.tp.html#a3 El día 6 de diciembre de 2010
- URL: dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=566688 El día 8 de diciembre de 2010.



Sistemas Productivos



BACTERIAS ENTOMOPATÓGENAS CON POTENCIAL PARA EL CONTROL DE PLAGAS AGRÍCOLAS EN DURANGO

González M. M.

B. García G. C.

INTRODUCCIÓN

En el Estado de Durango, México, se cultivan anualmente 231 497 61 ha de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y 146 587 00 ha de maíz (*Zea mays* L.), siendo los cultivos de mayor importancia económica, ya que cubren el 71,43% del total de la producción agrícola (SAGARPA, 2009). Los insectos plaga que causan los mayores daños a estos cultivos son el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) y la conchuela del frijol *Epilachna varivestis* (Mulsant, 1850) (Coleoptera: Coccinellidae) (García-Gutiérrez *et al.*, 2011).

En estos cultivos se requiere de un control de plagas y enfermedades más racional y compatible con el medio ambiente, todo esto como alternativa al empleo de plaguicidas sintéticos. Desde hace algunos años atrás se ha dirigido la atención a las propiedades insecticidas de ciertos microorganismos o productos microbianos secundarios; y dentro de ellos la bacteria *B. thuringiensis* (Bt) tiene propiedades insecticidas importantes (Theoduluz, 2003). Al respecto, Peña, *et al.* (2006), evaluaron la toxicidad de dos colecciones de cepas de Bt contra larvas de *E. varivestis* y de cepas aisladas de insectos. En la cepa GP1 (San Luis Potosí), aislada de insectos muertos, se identificó al gen que codifica la proteína (S-layer protein), el cual mostró una alta actividad insecticida contra el insecto, no así para *Manduca sexta*, *S. frugiperda* y *Aedes aegypti*. En relación a *S. frugiperda*, Del Rincón (2006), analizaron tres cepas nativas de Bt, y éstas se caracterizaron por su toxicidad, mediante la estimación de su concentración letal media o CL50. Las cepas LBIT-27, LBIT-181 y LBIT-193 presentaron una CL50 de 7.6, 3.8 y 3.9 µg/cm². En ambos estudios se determinó que los aislamientos mostraron potencial para desarrollarse como bioinsecticidas contra *E. varivestis* y *S. frugiperda*, plagas de importancia económica en México.

Por lo anterior, y debido a que en el Estado de Durango, México no se han realizado estudios de este tipo sobre estos insectos, se realizó el presente trabajo con el objetivo de contar con cepas nativas de la bacteria, específicas contra la conchuela del frijol y gusano cogollero y la caracterización molecular de los aislamientos más tóxicos para el control de estas plagas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cría masiva de insectos en laboratorio.

Se recolectaron larvas y adultos de *E. varivestis* en cultivos de frijol para establecer la cría masiva del insecto en laboratorio ($25 \pm 2^\circ\text{C}$, 60% de HR y 14:10 HL). Los insectos se colocaron sobre plantas de frijol “Flor de Mayo” sembradas en macetas hasta obtener larvas neonatas de la tercera generación de la colonia, las cuales se utilizaron en la ventana de respuesta biológica y en los bioensayos.

Se colectaron larvas de gusano cogollero en un cultivo de maíz, las cuales se criaron individualmente en laboratorio con dieta artificial (Ashby, 1972), se usaron recipientes de plástico con capacidad de 10mL con tapa y en su interior se colocaron 8g de dieta. Las pupas se pasaron a una cámara de emergencia con arena húmeda, y una vez que alcanzaron el estado adulto se colocaron en una bolsa de papel y dentro de ésta se colocó un recipiente de 5cm de diámetro con arena, miel y agua, para alimentar a los adultos y obtener los huevecillos, mismos que se pasaron a una caja Petri dentro de la cámara de cría ($27 \pm 2^\circ\text{C}$, 60% de HR y fotoperiodo 14:10 HL) hasta la emergencia de larvas, las cuales se usaron en las pruebas de toxicidad (García *et al.*, 2011).

Agentes de control.

Se utilizaron cepas nativas (AII 13, BI 7) cepas con el gen Cry III y (SM 3) cepa con el gen Cry I y de colección del Centro de Biotecnología Genómica del IPN (HD 867) con el gen Cry III y HD 125 con el gen Cry I.

Obtención del Extracto espora-cristal.

El extracto de esporas cristal fueron obtenidos mediante la técnica de coprecipitación con lactosa- acetona descrita por Dulmage (1970). Las cepas fueron activadas en tubos con agar nutritivo en posición inclinada, e incubadas por 18h, a 30°C . Posteriormente las cepas activadas fueron utilizadas para

inocular matraces de 250 mL con 50 mL de caldo triptosa fosfato, los cuales fueron incubados por 18 horas a 30°C y 200 rpm. de agitación. Finalmente fueron inoculados 10 matraces de 500 mL de capacidad con 100 mL de medio de cultivo a base de melaza, harina de soya, líquido de remojo de maíz y carbonato de calcio. Los matraces se incubaron a 30 °C, con una agitación de 200 rpm, tomando muestras a diferentes intervalos de tiempo (4, 2 y 1h) hasta obtener cultivos con un 80% de las células en la fase final de la esporulación. Finalmente el pH del medio de cultivo fue medido y ajustado en el rango de 7.0-7.2.

El complejo espora-cristal se obtiene por el método de co-precipitación lactosa-acetona (Dulmage, 1970), para ello el medio de cultivo fue centrifugado a 10,000 rpm. por 30 minutos a 5°C. El pellet fue pesado para después preparar una solución de lactosa al 5% en una proporción de 1.71 el volumen del peso del precipitado. Este volumen fue adicionado al pellet y sometido a agitación en una base magnética a una velocidad media por espacio de 30 minutos Después se adicionaron 3.34 volúmenes de acetona en relación al peso del precipitado y el volumen de lactosa al 5% adicionado, continuando la agitación por 30 minutos más. Posterior a este proceso, el complejo espora-cristal de cada cepa de *B. thuringiensis* fue obtenido mediante filtración al vacío. Finalmente el extracto fue lavado con 2 volúmenes de acetona, luego se pulverizó y fue almacenado.

PCR.

Mediante un PCR se identificaron las regiones ITS típicas de la bacteria y se compararon los pesos de los pb en Gene bank pesos de las secuencias de genes Cry I para los aislamientos de suelos cultivados con maíz y de los genes Cry III para aislamientos de frijol. La extracción y la amplificación de la cadena de DNA fue realizado en el CBG completo .

Bioensayos.

Una vez obtenido el complejo espora-cristal de las cepas de Bt (correspondiente al gen Cry I y III), se realizaron bioensayos en el laboratorio de entomología para determinar el efecto toxico contra larvas neonatas de *E. varivestis* y *S. frugiperda*.

E. varivestis. Para seleccionar una cepa de *B. thuringiensis* tóxica para esta plaga se probaron 2 cepas nativas (AII 13 y BI 7) y 1 de colección (HD 867), el cual contiene el gen Cry III, mediante bioensayos de inmersión del tóxico a la dieta natural, bajo las dosis de 50 y 500 µg de extracto de *B. thuringiensis* por

ml de agua, utilizando larvas de 2 días de desarrollo. Para ello se obtuvieron los extractos espóra-cristal de las diferentes cepas de *B. thuringiensis* a probar (cepas nativas y de colección-referencia), los extractos de *B. thuringiensis* fueron incorporados en agua y posteriormente a la dieta natural (hojas de frijol de 2.5 cm de diámetro) bajo las dosis de 50 y 500 ug/ml de agua, las hojas fueron colocadas en cajas petri (5 cajas para cada dosis/triplicado), con 5 larvas cada una. Las hojas se dejaron secar por espacio de 2 min, se transfirieron larvas de *E. varivestis* a las cajas y se taparon, condiciones de la sala de cría. Un total de 25 larvas se probaron por cada dosis para cada cepa de *B. thuringiensis*. La mortalidad se registró a los 7 días. Como control se utilizaron cajas petri con dieta natural sumergidas en agua, sin extracto de *B. thuringiensis* y con larvas de *E. varivestis*. Los datos de insectos vivos y muertos fueron reportados como porcentajes de mortalidad.

S. frugiperda. La cepa nativa que se utilizó como potencial para el control de *S. frugiperda* en los bioensayos fue aquella cepa que ocasionó arriba del 60% de mortalidad bajo la dosis de 50 ug /mL de dieta en una ventana de respuesta biológica preliminar. Los bioensayos fueron llevados a cabo usando dos concentraciones del complejo espóra-cristal: 50 y 500 µg/g de dieta artificial, por separado. El complejo espóra-cristal fue integrado y homogenizado dentro de la dieta artificial y 5g de la dieta fueron colocados en vasitos de plástico No. 0. Las larvas de dos días de edad fueron transferidas a cada vasito y cerradas con tapas perforadas para la adecuada oxigenación de los insectos, 25 larvas por concentración por triplicado. Los vasitos fueron colocados en bolsas de papel e incubados a 27 ± 1 °C y 65 ± 5 % de humedad relativa. La mortalidad de larvas se registró cada 24h durante 7 días.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se colectaron 8 muestras de suelo de las áreas cultivadas y 8 de las áreas sin cultivar de cada una de las 4 localidades (Guadalupe, Victoria, Cuencamé, Panuco de Coronado, Poanas). Las cepas de Bt fueron identificadas de acuerdo a las características fenotípicas de las colonias, después se identificaron los genes Cry presentes en las cepas. La morfología que se consideró para el aislamiento de estas cepas fue el siguiente: colonias color crema o ligeramente grisácea, de elevación plana, bordes lisos, redondas, grandes (aproximadamente 0.5-1 cm a las 24 h).

S. frugiperda. Se aislaron 17 cepas con características macroscópicas similares a los aislamientos de Bt de suelos cultivados y sin cultivar en cultivos de maíz en el estado de Durango. Para los bioensayos se seleccionó la cepa nativa SM 3, debido a que en los análisis micro y macroscópicos presentó las características de pertenecer a Bt, además, mediante consulta en el genbank, se encontró que corresponden a genes Cry I, mientras que la cepa de colección HD 125 (4L1) resultó positiva al contener los genes Cry I, tóxicos para lepidópteros. La mortalidad de larvas de *S. frugiperda* expuestas a dos concentraciones (50 y 500 µg/ml) de esta cepa (SM 3), así como el control positivo, donde se utilizó la cepa estándar HD 125, la cual ha sido probada para el control de otros lepidópteros. La mayor mortalidad se registró conforme fueron transcurridos los días, siendo mayor en el 7º día, alcanzando una mortalidad del 66% a una concentración de 500 µg/ml y 57% a 50 µg/ml en relación a la cepa estándar, que se usó como control positivo HD 125 (84 y 62% a las mismas concentraciones).

E. varivestis. De 97 colonias con morfología similar a Bt, solo 13 colonias tuvieron las características de pertenecer a Bt (13.4%) (microscópicamente), mostrando cristales proteicos, esporas, bacilos y células vegetativas; de acuerdo a las localidades se obtuvo mayor número de colonias de los municipios con mayor altitud (entre 1500 y 2000 msnm) probablemente debido a la incidencia de la luz ultravioleta. Al respecto, Peña *et al.* - (2006)- encontraron mayor número de cepas de Bt en aislamientos de suelo cultivados con aguacate en Aquiles Serdán, Nayarit., en relación con otros hospederos (hojarasca, follaje, frutos infestados e insectos muertos), este hecho concuerda en general con nuestro estudio en cultivos de maíz y frijol de 4 localidades de Durango.

El análisis de PCR y comparación en el genbank de los 13 aislamientos analizados mostró que 2 de ellas no contenían los genes Cry III (muestra 2 y 12), cepas AII 13 y CII 17. Las cepas aisladas fueron positivas, las bandas obtenidas corresponden al producto de amplificación para este gen con un tamaño esperado y pb pares de bases. Al respecto, Soberón y Bravo, (2008) mencionan que en territorio mexicano los genes Cry III se encuentran distribuidos en un 22%, en relación a los genes Cry I, los cuales se encuentran en un 47%, encontrándose mayor número de cepas en el pacífico sur (climas tropicales). En este trabajo se encontró éste tipo de gen en 11 de las cepas analizadas. No obstante, Tamez-Guerra *et al.* (2005) encontraron que la cepa C-9 tiene actividad contra coleópteros, y que presenta genes putativos para Cry III y Cry VII/VIII, por lo

que es importante verificar si las 11 cepas codifican para los genes específicos Cry III (Cry3A, Cry3B, Cry3C). De esta manera nuestros resultados de toxicidad y caracterización molecular de las cepas indican que tienen potencial para el control de coleópteros de importancia agrícola, entre los que se encuentra el insecto sujeto a estudio.

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos de los bioensayos realizados con la cepa HD 867, (Cry III), y las cepas nativas AII 13 y B 17, que contienen el complejo spora-cristal de Bt, las cuales fueron seleccionadas para realizar los bioensayos de toxicidad contra larvas neonatas de *E. varivestis*. La cepa poseía un cultivo 100% esporulado, esporas grandes y gruesas, típicas de Bt.

Cuadro 1. Porcentajes de mortalidad de *E. varivestis*.

Cepas	AII 13		BI 7		HD 867	
	50 µg/mL	500 µg/mL	50 µg/mL	500 µg/mL	50 µg/mL	500 µg/mL
1	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---	---
3	---	13	20	20	53	73
4	6	26	33	20	73	96
5	20	33	40	46	96	
6	20	46	40	53		
7	26	66	53	73		

Las larvas neonatas de *E. varivestis* manifestaron cese de alimentación, parálisis del intestino, parálisis total y finalmente la muerte, a partir del 3er día. La más alta mortalidad se observó en la cepa de referencia HD 867 (96%), sin embargo las cepas nativas también mostraron alta toxicidad contra esta plaga a la más alta concentración (500 µg/ml), tal como la cepa GP1 aislada de insectos de *E. varivestis* en Morelos, México (Peña *et al.*, 2006) y ambas mostraron toxicidad alta contra esta plaga

CONCLUSIONES

En suelos cultivados con maíz, se aislaron 17 cepas nativas de *B. thuringiensis*. No obstante, a pesar de que en México se han evaluado cepas de *B. thuringiensis* contra el gusano cogollero, es necesario conocer el perfil de plásmidos y la morfología del cristal que contienen, motivo por el cual no se conoce completamente su

identidad. De ahí la importancia de aislar y caracterizar genéticamente cepas nativas, las cuales se encuentran adaptadas a las condiciones climáticas de la región de origen.

De 97 aislamientos de suelos cultivados con frijol, se obtuvieron 13 cepas nativas de Bt con características morfológicas de pertenecer a Bt, obteniendo un mayor porcentaje de bacterias en suelos con mayor altitud y en áreas sin cultivar cercanas al cultivo de frijol, así como en las primeras diluciones (mayor concentración de la bacteria). De acuerdo a PCR, 11 de los 13 aislamientos corresponden al gen Cry III. Se probaron las cepas AII 13 y BI 7, así como la cepa de referencia HD 867 de Bt mediante bioensayos de toxicidad, para el control de larvas neonatas de *E. varivestis* en laboratorio obteniendo porcentajes de mortalidad del 77, 66 y 96% en los primeros días (3-4 días) a la más alta concentración de Bt, respectivamente, lo cual indica que estas cepas nativas tienen potencial para ser utilizadas para el control biológico de esta plaga en Durango, México.

BIBLIOGRAFÍA

- Ashby, G. 1972. The UFAW Handbook on the care and management of laboratory animals, eds. Worden, A. N. and Lane-Petter, W. The Universities Federation for Animal Welfare, London. 582-587 p.
- Dulmage H.T. 1970. Production of spore-endotoxin complex by variants so *Bacillus thuringiensis* in two fermentation media. *J. Invertebr. Phatol.* 18: 353-358.
- García G., C., M. B. González M., y N. Bautista M. 2011. Patogenicidad de aislamientos nativos de hongos entomopatógenos contra *Spodoptera frugiperda* y *Epilachna varivestis*. *Revista Colombiana de Entomología.* 37(2): 217-222.
- Peña, G., Miranda R. J., De la Riva G., Pardo L., Soberón M., and Bravo A. 2006. A *Bacillus thuringiensis* S-Layer Protein Involved in Toxicity against *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Applied and Environmental Microbiology.* 72(1):353-360.
- SAGARPA. 2009. Anuario estadístico de datos del sitio web: <http://www.oeidrus-durango.gob.mx/> Fecha última revisión: 28 de febrero 2008. Fecha último acceso: [19 de abril 2009].

- Soberón, M. y Bravo, A. 2008. Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación. En: López-Munguía, A. Una ventana al quehacer científico. Instituto de Biotecnología de la UNAM. Capítulo: 27. México, D.F. UNAM. 303-314 pp.
- Tamez G. P., McGuire R. M., Medrano Roldán H., L. J. Galán Wong. Sasha B. S., F. E. Vega. 1996. Spray granule formulations for *Bacillus thuringiensis*. J. Econ. Entomol. 89(6): 1424-143.
- Theoduloz C., A. Vega, M. Salazar, E. González, and L. Meza-Basso. 2003. Expression of a *Bacillus thuringiensis* δ -dotoxin cry1Ab gene in *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* strains that naturally colonize the phylloplane of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Appl. Microbiol. 94:1-7.

ACTIVIDAD BIOCONTROLADORA DE BACTERIAS NATIVAS VS EL HONGO FITOPATOGENO *Botrytis cinerea* EN FRUTOS DE FRESA

Álvarez G. T. B.
Hurtado V. S.
Oyoque S. G.
Mena V. H. G.
Angoa P. M. V.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) durante su producción, se ve afectado por numerosas enfermedades. Una de la más comunes es el moho gris causada por *Botrytis cinerea* que ocasiona pudrición blandas en los frutos cuando se almacenan, transportan y venden en el mercado (Barona y Sancho, 1992). Entre los métodos tradicionales de combate de pudriciones en postcosecha está el uso de la refrigeración y productos químicos y más recientemente el manejo integrado (Benhamon y Chet, 1993). Con respecto a los fungicidas, además de provocar resistencia al patógeno, el número que se puede emplear en postcosecha es muy reducido y con pocas perspectivas de nuevos ingredientes activos en el mercado (Droby *et al.*, 1992). Actualmente son cada vez mayores las discusiones de orden higiénico-sanitarias, puesto que los fungicidas se presentan como potenciales agentes oncogénicos cuando son aplicados a las frutas y verduras, por lo que se han establecido una serie de límites máximos de residuos restrictivos recomendados por el “Codex Alimentarius”(Elad, Boyle y Henis, 1983). En la búsqueda de alternativas naturales para el control de pudriciones postcosecha se ha valorado el empleo de extractos vegetales, cubiertas naturales, antagonismo microbiano y el quitosano (Fraire *et al.*, 2003), estos últimos dentro del control biológico que son inocuos al ser humano ya que no dejan residuos en el fruto como los fungicidas o agroquímicos, además de otros beneficios al ecosistema. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la actividad biocontroladora de bacterias nativas de los frutos de fresa contra *Botrytis cinerea* en frutos de fresa postcosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aislamiento de bacterias.

Trozos de frutos y raíz (0.3 cm²) de la fresa silvestre y (*Duchesnea indica* Andrew Focke), se aseptizaron con hipoclorito de sodio (NaClO) al 3% por 1 min seguido de enjuagues con agua destilada estéril y posterior secado en toallas de papel estéril. Los trozos se colocaron en medio Papa Dextrosa Agar (PDA) e incubaron a 21 °C hasta la aparición de colonias bacterianas. El mismo procedimiento se siguió con trozos de fruto de fresa comercial (variedad Albión). Una vez que se observó crecimiento bacteriano, se purificaron los aislados en medio PDA y dejaron en crecimiento a 21 °C por 48 hrs y posteriormente se almacenaron a 4 °C.

Biocontrol de *Botrytis cinerea* en frutos de fresa postcosecha.

El hongo fitopatógeno *Botrytis cinerea* que se utilizó en este trabajo fue proporcionado por el cepario del CIIDIR-IPN, Michoacán. El hongo fue aislado frutos de fresa variedad Albión cosechadas en el campo. Para activar la cepa se tomaron 0.5 cm² de agar con micelio de *B. cinerea* y se colocó en PDA e incubó a 21 °C por 72 hrs. Una vez crecido se almacenó a 4 °C.

Se realizaron suspensiones bacterianas con los distintos aislados usando Agar Dextrosa Infusión (PDI) a 200 vaivenes/min y 21°C por 24 hrs para obtener una densidad de inóculo de 1x10⁶ UFC ml⁻¹ de cada una. Dichas suspensiones, se asperjaron a frutos de fresas previamente aseptizados como se mencionó anteriormente. Se colocaron 10 frutos por cámaras (considerada como unidad experimental) y se tuvieron 3 por tratamiento. Se dejó asociar a la bacteria correspondiente con los frutos durante 1, 2, 6 y 8 días y posteriormente se asperjaron conidios de *B. cinerea* (2x10⁴ esporas/mL) a los frutos. La evaluación se hizo por 5 días en los que se determinó diariamente la severidad del daño ocasionado por *B. cinerea* mediante el índice de severidad propuesto por Pérez *et al.* (1995). Los tratamientos evaluados fueron:

Frutos asperjados con PDI.

Frutos asperjados con bacteria aislada de fresa comercial (B1) + *B. cinerea* inoculado a 1, 2, 6 y 8 días.

Frutos asperjados con bacteria aislada de fresa comercial (B2) + *B. cinerea* inoculado a 1, 2, 6 y 8 días

Frutos asperjados con bacteria aislada de fresa silvestre (B3) + *B. cinerea* inoculado a 1, 2, 6 y 8 días

Frutos asperjados con bacterias aislada de fresa silvestre (B4) + *B. cinerea* inoculado a 1, 2, 6 y 8 días Frutos asperjados con *B. cinerea*

El experimento se realizó mediante un diseño experimental completamente al azar. Los datos fueron analizados con un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de Tuckey, utilizando el programa estadístico SAS para Windows versión 9.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los aislados bacterianos obtenidos de frutos de fresa comercial B1 y B2 no lograron inhibir el crecimiento de *B. cinerea* ya que los frutos inoculados con ellas presentaron mayor severidad en los diferentes tiempos evaluados en comparación a los frutos tratados con el hongo *B. cinerea*. Los frutos asperjados con PDI también presentaron daño debido a el hongo nativo como *Rhizopus sp* y *B. cinerea* que contenían los frutos causando severidad de 1.5. Sin embargo, los frutos de fresas tratados con la bacteria aislada de fruto silvestre B3, después de 1 día de asociación, presentaron menor severidad (1.5) siendo similar a la obtenida en los frutos tratados con PDI (Figura 1). Los frutos asperjados con la bacteria B4, proveniente también de fruto de fresa silvestre, controló al patógeno de manera con tiempos de asociación de 1, 2 y 6 días (Figura 2). El mejor control con B4 se observó con 1 y 2 días de asociación y aunque al dejarla por 6 días también se presentó control del patógeno, la mayoría de los frutos comenzaban a ser afectados debido a su vida útil corta y biota microbiana nativa. Esos resultados coinciden con lo reportado por Chaves y Wang (2004), quienes también observaron una disminución en la infección de *Botrytis cinerea* en frutos de fresa al aplicar el hongo *Gliocladium roseum*, cuyo control fue no solo efectivo contra dicho fitopatógeno sino también contra cepas de los géneros *Colletotrichum*, *Rhizopus*, *Rhizoctonia* y *Phytophthora*.

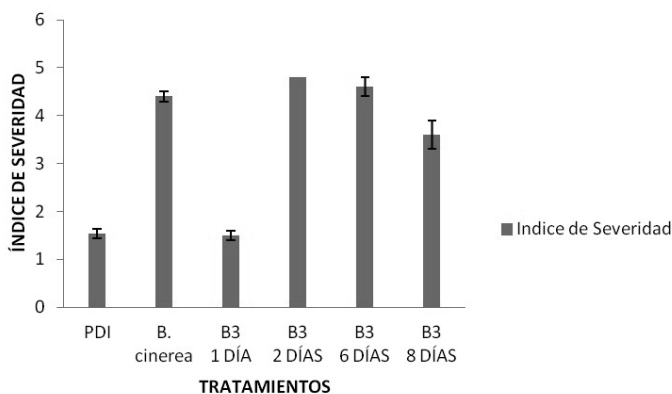


Figura 1. Índice de severidad de los frutos de fresa tratados con PDI, *B. cinerea* y B3 + *B. cinerea*.

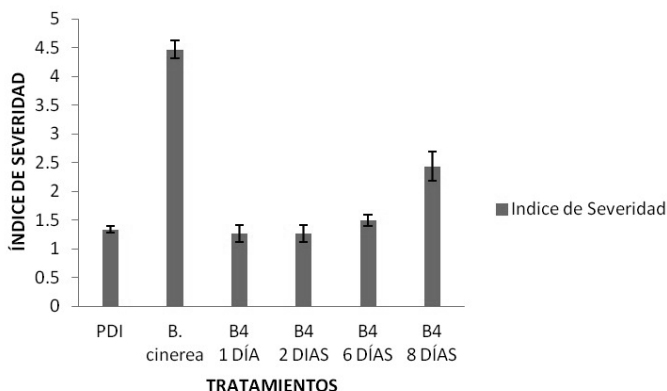


Figura 2. Índice de severidad de los frutos de fresa tratados con PDI, *B. cinerea* y B4 + *B. cinerea*.

CONCLUSIONES

Las bacterias aisladas de los frutos de fresa B3 y B4 fueron buenas controladoras de *B. cinerea* en frutos de fresa postcosecha, por lo que poseen potencial para disminuir la pudrición ocasionada por este patógeno durante el transporte y en los sitios de venta aunque para esto es necesario realizar más estudios.

BIBLIOGRAFÍA

- Baraona M. y Sancho E. 1992. Fruticultura especial: manzana, melocotón, fresa y mora. Fascículo 6. EUNED. San José Costa Rica. 140 p.
- Benhamon N. y Chet I. 1993. Hyphal interaction between *Trichoderma harzianum* and *Rhizoctonia solani*: ultra structure and gold cytochemistry of the mycoparasitic process. *Phytopathology* 83: 1062-71.
- Droby S., Chalutz E, Wilson C. I. y Wisniewki M. E. 1992. Biological control of postharvest diseases: a promising alternative to the use of synthetic fungicides. *Phytoparasitica* 20: 49-153.
- Elad Y., Boyle P. y Henis Y. 1983. Parasitism of *Trichoderma spp.* on *Rhizoctonia solani* and *Sclerotium rolfsii* scanning electron microscopy and fluorescence microscopy. *Phytopathology* 73: 85-8.
- Fraire Cordero M., Yáñez M., Nieto D. y Vázquez G. 2003. Hongos patógenos en fruto de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) en postcosecha. *Rev Mex Fitopatol* 2: 285-91.
- Pérez M. N., Flores, P.J., García, V. L. y V. C. Lozano. 1995. Factores genéticos y ambientales relacionados con la dinámica temporal y efecto de las enfermedades en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Marín, Nuevo León, México. *Revi. Mex. Fitopatología*, 13: 1-9.
- Chaves N. y Wang A. 2004. Combate del moho gris (*Botrytis cinerea*) de la fresa mediante *Gliocladium roseum*. *Agronomía Costarricense* 28 (2): 73-85.



Fauna



ABUNDANCIA, DIVERSIDAD Y USO DE HÁBITAT DE AVES RAPACES DIURNAS EN EL NORTE DE SINALOA

Salvador Martín Medina Torres

Gustavo Enrique Rojo Martínez

Rosa Martínez Ruiz

Hugo Humberto Piña Ruiz

Estuardo Lara Ponce

INTRODUCCIÓN

México es uno de los países con mayor diversidad biológica en el planeta, y destaca en particular por su diversidad de aves, con 1323 especies, de las cuales 63 pertenecen al grupo conocido como las aves rapaces diurnas (Navarro y Gordillo, 2006). Hoy día, 43 especies de este grupo, se encuentran en alguna categoría de riesgo (DOF, 2010), y por lo menos dos especies que antes estaban enlistadas (*Gymnogyps californianus* Shaw 1798, probablemente extinta; *Sarcoramphus papa* Linnaeus 1758, en peligro de extinción), pueden considerarse virtualmente extintas, dado que ya no figuraron en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010).

A nivel nacional, Sinaloa se ubica entre dos grandes regiones biogeográficas (Neártica y Neotropical), lo que le confiere una alta diversidad biológica, reflejada en los bosques tropicales secos que se distribuyen desde la costa hasta la parte media de la Sierra Madre Occidental, así como las comunidades templadas de bosques de coníferas que se distribuyen en las partes más altas de la serranía (Rubio *et al.*, 2006), además de los manglares, humedales y matorrales costeros. Lo anterior ha hecho de Sinaloa uno de los estados con mayor riqueza de aves (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008), patrimonio natural que es objeto de estudio y conservación en ocho Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS) y tres Áreas Naturales Protegidas (ANP), dentro de las que se han inventariado un total de 487 especies de aves, de las cuales 31 corresponden al grupo de las aves rapaces diurnas (Berlanga *et al.*, 2008), así como una

reserva ecológica propiedad de la Universidad Autónoma de Sinaloa, donde se ha reportado una avifauna de 122 especies (Rubio *et al.*, 2006).

Las aves rapaces diurnas constituyen un grupo de especies de la avifauna, cuya importancia ecológica ha sido demostrada a cabalidad, ya que su presencia se ha valorado como un indicador de la salud y viabilidad de las comunidades bióticas y sus ecosistemas, pues son particularmente vulnerables a la pérdida y degradación de los ambientes naturales (Vázquez *et al.*, 2009). Incluso se ha propuesto que las aves rapaces diurnas pudieran servir como controladores biológicos de roedores en cultivos de importancia económica prioritaria en el norte de Sinaloa, como la caña de azúcar (Quintero *et al.*, 2009).

La mayor parte los trabajos científicos sobre la avifauna sinaloense que incluyen menciones o datos sobre aves rapaces diurnas, se han realizado en ecosistemas insulares (Guevara, 2008; Castillo *et al.*, 2009), en bahías y complejos lagunares del litoral (Nebel *et al.*, 2004), y áreas agrícolas (Quintero *et al.*, 2009). Más escasos aún son los trabajos específicos sobre aves rapaces diurnas (halcón peregrino y halcón esmerejón; Enderson *et al.*, 1991), en tanto que no hay investigaciones sobre las aves rapaces diurnas en otros ecosistemas de Sinaloa, a excepción de un trabajo en donde se documenta, en el norte de Sinaloa, el hallazgo de por lo menos una especie migrante (*Buteo jamaicensis*) anillada en Idaho (Steenhof *et al.*, 1984).

Aun cuando ésta ha sido una región en donde la avifauna ha visto amenazada su perdurabilidad por la destrucción del hábitat como resultado de la ampliación de la frontera agrícola, y la consecuente sobre-utilización de pesticidas que vulneran sus poblaciones aun mas allá de las fronteras del país (Mora, 1997), a la fecha no se ha valorado lo suficiente el estudio de las rapaces diurnas como indicadoras de la salud de los ecosistemas.

Existen además otras áreas de oportunidad que las aves rapaces diurnas pueden ofrecer, y que aún no han sido plenamente reconocidas y aprovechadas en el norte de Sinaloa, a diferencia de lo demostrado en otras experiencias exitosas en países latinoamericanos, en donde se ha logrado la participación comunitaria en actividades de relativas a su estudio, seguimiento y conservación (Barreda, 2010).

Para contribuir a generar conocimiento sobre las aves rapaces diurnas en el norte de Sinaloa, se realizó un estudio durante los meses de enero y marzo de 2012, con el objetivo de estimar la diversidad y abundancia de aves rapaces y carroñeras, y de analizar el uso del hábitat por cada especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprendió la ruta que cubre la carretera No. 32, que comunica la ciudad de los Mochis con el municipio de Choix, ubicada entre las coordenadas métricas 721,041 a 765,420 oeste, y 2,883,084 a 2,955,047 norte (datum NAD 27, zona UTM 12 Norte), y comprende los municipios de El Fuerte y Choix (Figura 1).

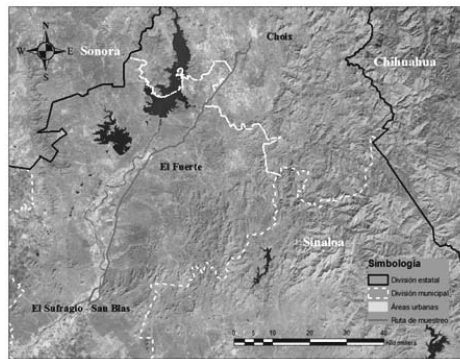


Figura 1. Ubicación del área de estudio

La región fisiográfica del tramo “El Safrago” a la ciudad de El Fuerte, corresponde a la Llanura Costera del Pacífico, en tanto que de de esta ciudad hacia Choix, pertenece a la Sierra Madre Occidental (INEGI, 2012).

El clima va del tipo Seco cálido (BS0(h')hw) a Semiseco cálido (BS1(h')hw), siguiendo un gradiente altitudinal que va de los 60 a los 260 m snm. La temperatura media anual oscila entre 22 y 26 °C, y la precipitación media anual va de los 400 a los 600 mm (INEGI, 2012).

Con base en la cartografía de vegetación y uso del suelo de INEGI serie III, la vegetación predominante a lo largo de esta ruta, consiste en selvas bajas caducifolias y matorral sarcocaula con grado de conservación variable, y fragmentadas por cultivos de riego o de temporal, así como pastizales inducidos,

alternados con algunas áreas urbanas, principalmente de la ciudad de El Fuerte. Para obtener el número de especies y de individuos, se utilizó el método de recuento en transecto, desde un vehículo automotor, conduciendo a una velocidad alrededor de 60 km hr⁻¹. La ruta de muestreo fue por la carretera No. 32 de la localidad “El Sufragio”, del municipio de El Fuerte, a la cabecera municipal de Choix, a lo largo de las cuales se hizo el recuento de aves rapaces y carroñeras que se encontraron perchando en el tendido eléctrico o en la vegetación, así como aquellas que fueron detectadas en vuelo, sobre la vertical de la ruta de muestreo, hasta un ancho de 100 metros a cada lado del camino aproximadamente. Los avistamientos fuera de este rango, fueron registrados pero no se consideraron para este estudio. Se realizaron un total de siete recuentos (dos en enero y cuatro en marzo de 2012; cuatro durante la mañana (7:30 a 11:30 hrs)).

Para la observación y registro de los ejemplares a lo largo de la ruta, se utilizaron unos binoculares Bushnell ® de 8 x 40 con cámara digital integrada, un telescopio terrestre Bushnell ® con cámara integrada, y una video-cámara digital Sonny ®. Cada observación fue georreferenciada con un geoposicionador Garmin e-Trex venture ®, con un error no mayor de 4 m. El registro de las observaciones se hizo empleando formatos de campo, así como grabaciones de voz con una grabadora digital Sonny ®.

Se empleó el programa Ozi explorer® para obtener los registros georreferenciados, y su visualización se hizo en la plataforma Google Earth ®. El análisis espacial de los datos se realizó en el programa Arc-Gis 9.3 de ESRI ®. Para la construcción del sistema de información geográfica, se emplearon los conjuntos de datos vectoriales de las cartas topográficas G12B68, G12B78, G12B77 y G12B87 escala 1:50,000; y el hábitat disponible se determinó tomando como base la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI serie III, cotejado con imágenes satelitales de la plataforma Google Earth ® y verificación de campo.

Con los datos de los recuentos, se obtuvo la riqueza de especies (S) y el número de individuos total (N) y por especie (Ni). En seguida, se calculó la abundancia relativa para cada especie, expresada en términos de individuos por km de transecto recorrido por tipo de hábitat. Se obtuvieron índices de diversidad de Shannon (H'), equidad de Pielou (J') y dominancia de Simpson (D) empleando el programa PAST 2.15 ® (Hammer y Harper, 2001).

Finalmente, se analizó el uso de hábitat mediante una prueba de uso-disponibilidad con intervalos de Confianza de Bonferroni e índice de Jacobs, para determinar si las rapaces seleccionaron algún tipo de hábitat (Manly *et al.*, 1993; Medina-Torres *et al.*, 2007).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Resultados.

Se obtuvieron un total de 141 recuentos sobre siete tipos de hábitat, con 10 especies (mas una especie falconiforme no identificada), repartidas en tres familias (*Accipitridae*, *Falconidae* y *Cathartidae*) (Cuadro 1 y Figura 2). En cada recuento se registraron entre uno y 32 individuos, para sumar 380 individuos entre los seis muestreos realizados.

Cuadro 1. Recuentos de aves rapaces diurnas realizados en enero y marzo de 2012 en la ruta “El Sufragio”, San Blas a Choix, en el Norte de Sinaloa, en siete tipos de hábitat.

spp	Tipo de Hábitat							Total
	AR	AT	AT vs SBC	MS	MS des	PI	SBC	
<i>Accipitridae</i>								
<i>Buteo jamaicensis</i>	3	1	0	0	2	0	7	13
<i>Buteo nitidus</i>	1	0	3	0	1	2	3	10
<i>Elanus leucurus</i>	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Parabuteo unicinctus</i>	0	0	0	2	0	0	0	2
<i>Falconidae</i>								
<i>Falco columbarius</i>	0	2	0	0	0	0	0	2
<i>Falco peregrinus</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Falco sparverius</i>	2	2	3	2	2	1	8	20
<i>Falco spp*</i>	1	0	1	0	0	0	1	3
<i>Polyborus plancus</i>	5	3	3	4	2	0	6	23
<i>Cathartidae</i>								
<i>Cathartes aura</i>	7	7	24	4	5	0	6	53
<i>Coragyps atratus</i>	2	1	7	0	0	3	0	13
Total	22	16	41	12	13	6	31	141

AR = Agricultura de Riego, AT = Agricultura de Temporal, AT vs SBC = Agricultura de Temporal con vegetación secundaria de Selva Baja caducifolia, MS = Matorral Sarcocaula, MS des = Matorral Sarcocaula desmontado, PI = Pastizal Inducido y SBC = Selva Baja Caducifolia. * Especies no distinguibles entre *Falco sparverius* o *F. columbarius*.

Se encontraron 10 especies de rapaces diurnas en este trabajo, las cuales representaron poco más del 32% de las 31 especies registradas para el estado de Sinaloa (Berlanga *et al.*, 2008). Nueve de las 10 especies identificadas, se encuentran en el listado de 28 especies reportadas para el estado de Sinaloa, en el catálogo de aves de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO; Navarro y Gordillo, 2006); solamente una de ellas (*Elanus leucurus*) no estaba reportada en dicho catálogo. Se encontró además que dos de las 10 especies identificadas, se encuentran sujetas a protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (D.O.F., 2010): *Falco peregrinus* (del cual solo se obtuvo una observación) y *Parabuteo unicinctus* (de la que se encontró una pareja, posiblemente reproductora). Más de la mitad de los recuentos, se realizaron en hábitats asociados a selva baja caducifolia con distintos grados de perturbación, sobre todo en sitios fragmentados por la apertura cultivos de temporal, seguidos de sitios sin disturbio aparente. En contraste, los hábitats con menos observaciones, fueron el matorral sarcocaula y el pastizal inducido (Figura 2).

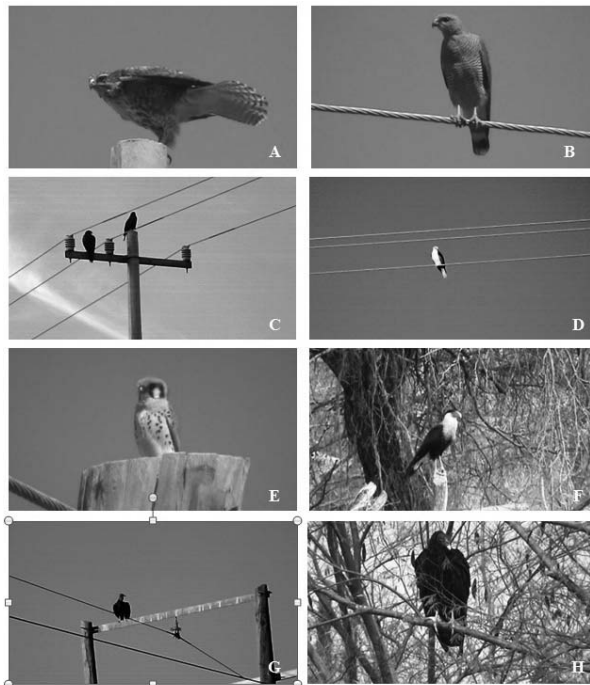


Figura 2. Fotografía de algunas de las especies encontradas: *Buteo jamaicensis* (A), *Buteo nitidus* (B), *Parabuteo unicinctus* (C), *Elanus leucurus* (D), *Falco sparverius* (E), *Polyborus plancus* (F), *Coragyps atratus* (G) y *Cathartes aura* (H).

Abundancia.

La abundancia relativa de las aves rapaces (individuos observados por km recorrido) varió tanto entre individuos como entre hábitats. Los zopilotes fueron las aves más abundantes (*Cathartes aura* y *Coragyps atratus*; familia *Cathartidae*), seguidas por las especies de la familia *Falconidae*, mientras que las rapaces más escasas fueron las de la familia *Accipitridae*. Dentro de la familia *Falconidae*, las especies más abundantes fueron *Polyborus plancus* y *Falco sparverius*, mientras que *Buteo jamaicensis* y *B. nítidus* fueron las especies más abundantes de la familia *Accipitridae*. Cabe resaltar, que las especies menos abundantes fueron *Parabuteo unicinctus* y *Elanus leucurus* (familia *Accipitridae*), así como *Falco peregrinus* y *F. columbarius* (familia *Falconidae*) (Cuadro 2).

En cuanto a la abundancia de rapaces por tipo de hábitat, se observó que los pastizales inducidos, los cultivos de temporal, y los sitios agrícolas de temporal con vegetación secundaria de selva baja caducifolia, fueron los hábitats en donde se registró casi el 72% de la abundancia relativa total de las aves rapaces diurnas, a lo largo de la ruta de muestreo (Cuadro 2 y Figura 4).

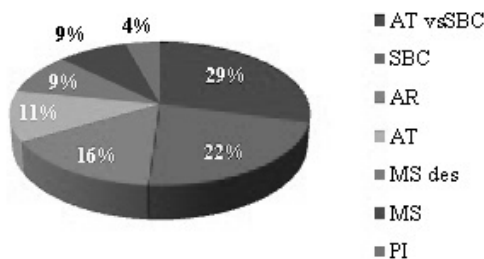


Figura 3. Distribución porcentual de los recuentos de aves rapaces diurnas por tipo de hábitat.

Cuadro 2. Número de aves km⁻¹ por especie y tipo de hábitat.

Familia / spp	Tipo de Hábitat							Total
	AR	AT	AT vs SBC	MS	MS des	PI	SBC	
<i>Accipitridae</i>								
<i>Buteo jamaicensis</i>	0.02	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00	0.07	0.17
<i>Buteo nitidus</i>	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	0.12	0.03	0.22
<i>Elanus leucurus</i>	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
<i>Parabuteo unicinctus</i>	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06
<i>Falconidae</i>								
<i>Falco columbarius</i>	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
<i>Falco peregrinus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02
<i>Falco sparverius</i>	0.01	0.06	0.02	0.03	0.06	0.04	0.07	0.29
<i>Falco spp</i>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
<i>Polyborus plancus</i>	0.05	0.19	0.02	0.08	0.06	0.00	0.07	0.46
<i>Cathartidae</i>								
<i>Cathartes aura</i>	0.09	0.38	0.45	0.14	0.38	0.00	0.09	1.54
<i>Coragyps atratus</i>	0.05	0.68	0.64	0.00	0.00	1.15	0.00	2.52
Total	0.26	1.39	1.15	0.31	0.62	1.32	0.32	5.37

AR = Agricultura de Riego, AT = Agricultura de Temporal, AT vs SBC = Agricultura de Temporal con vegetación secundaria de Selva Baja caducifolia, MS = Matorral Sarcocaula, MS des = Matorral Sarcocaula desmontado, PI = Pastizal Inducido y SBC = Selva Baja Caducifolia. * Especies no distinguibles entre *Falco sparverius* o *F. columbarius*.

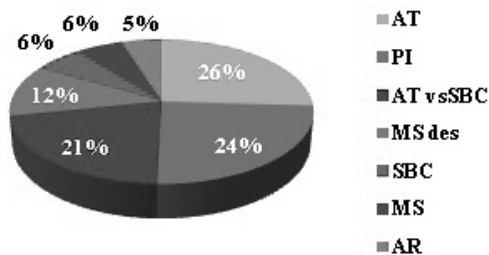


Figura 4. Distribución porcentual del número de aves rapaces diurnas km⁻¹ por tipo de hábitat.

Diversidad de rapaces por tipo de hábitat.

Los hábitats con mayor riqueza de especies fueron los sitios con agricultura de riego, seguidos de la selva baja caducifolia y el matorral sarcocaula fragmentado

por el desmonte, en tanto que los hábitats con menor riqueza fueron el matorral sarcocaulé y el pastizal inducido. En contraste, los sitios de agricultura de temporal con vegetación secundaria de selva baja caducifolia tuvieron la mayor cantidad de aves rapaces diurnas. Los hábitats con mayor diversidad de rapaces diurnas fueron los sitios con agricultura de riego y la selva baja caducifolia, en tanto que el pastizal inducido fue el hábitat con menor diversidad. Estos mismos hábitats, mostraron tendencias opuestas en cuanto a la dominancia de rapaces; es decir, a menor diversidad, mayor fue la dominancia. Los hábitats con mayor equidad de rapaces, fueron la selva baja caducifolia, el matorral sarcocaulé y los sitios con agricultura de riego, mientras que el hábitat con menor equidad fue el pastizal inducido (Cuadro 3 y Figura 5).

Uso y disponibilidad del hábitat.

Se encontraron ocho tipos de hábitat disponible, de los cuales solamente el área urbana no fue utilizada por las aves rapaces diurnas. La mayoría del hábitat disponible correspondió a sitios de agricultura de temporal con vegetación secundaria de selva baja caducifolia (35 %). Este tipo de hábitat, junto a los sitios aún no degradados de selva baja caducifolia y matorral sarcocaulé, representaron casi las tres cuartas partes del hábitat disponible (Figura 6).

Cuadro 3. Riqueza de especies, número de aves e índices de diversidad en los siete tipos de hábitat estudiados.

Hábitat	Número de especies (S)	Número promedio de individuos (N)	Diversidad de Shannon (H')	Equidad de Pielou (J')	Dominancia de Simpson (D)
AR	7	5.7	1.65	0.85	0.24
AT	6	9.2	1.19	0.66	0.41
AT_vsSBC	5	30.5	0.91	0.57	0.46
MS	4	3.2	1.23	0.89	0.33
MS_des	6	3.8	1.36	0.76	0.36
PI	3	4.0	0.46	0.42	0.77
SBC	5	6.5	1.52	0.95	0.23

AR = Agricultura de Riego, AT = Agricultura de Temporal, AT vsSBC = Agricultura de Temporal con vegetación secundaria de Selva Baja caducifolia, MS = Matorral Sarcocaulé, MS des = Matorral Sarcocaulé desmontado, PI = Pastizal Inducido y SBC = Selva Baja Caducifolia.

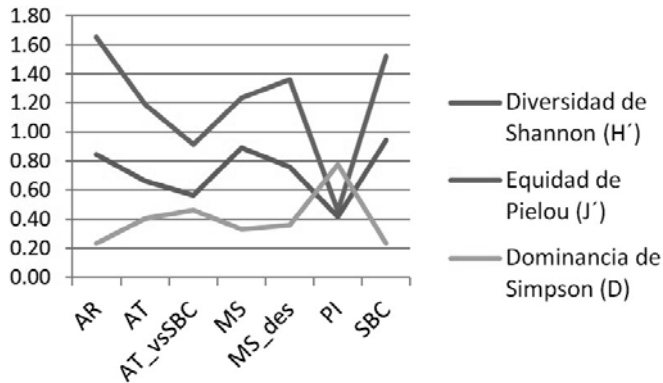


Figura 5. Tendencias comparativas de la diversidad de rapaces entre los siete tipos de hábitats estudiados.

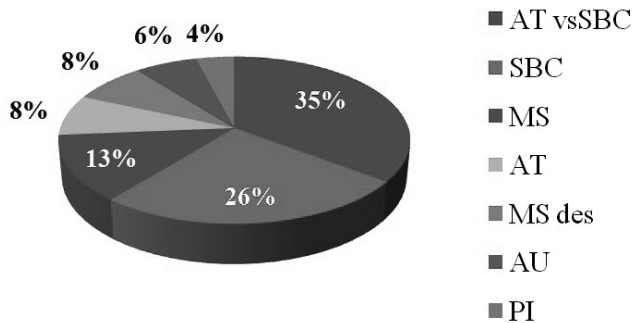


Figura 6. Distribución porcentual del hábitat disponible.

Se encontró que los tipos de hábitat considerados presentaron diferencias en su uso por las aves rapaces diurnas, lo que descartó la hipótesis nula de que todos los hábitats son utilizados en proporción a su disponibilidad ($X_L^2 = 30.06$, $gl = 7$, $\alpha < 0.05$). Los intervalos de confianza Bonferroni a la proporción del hábitat utilizado (δ_i) y su comparación con el hábitat disponible (π_i), sugieren que los sitios de agricultura de temporal con vegetación secundaria de selva baja caducifolia, fueron seleccionados por la comunidad de rapaces diurnas en el área de estudio ($0.31 \leq \delta_i \leq 0.66$; $\alpha = 0.05$; $\pi = 0.28$) en tanto que los demás tipos de hábitat, salvo las áreas urbanas, fueron utilizados en proporción a su disponibilidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Uso de hábitat por las aves rapaces diurnas según su disponibilidad durante enero y marzo de 2012 en la ruta “El Sufragio – Choix”, norte de Sinaloa.

Hábitat	Hábitat disponible	Proporción de hábitat disponible	Hábitat utilizado (promedio de aves)	Proporción de hábitat utilizado	Intervalo de Confianza de Bonferroni de δ_i		Índice de Jacobs	Interpretación
	m_i	π	u_i	δ_i	Inferior	Superior	D_i	
	Agricultura de riego	18.87	0.20	6.17	0.10	0.00	0.20	
Agricultura de temporal	5.91	0.06	8.83	0.14	0.02	0.26	0.41	=
Agricultura de temporal con vegetación secundaria de selva baja caducifolia	26.46	0.28	30.67	0.48	0.31	0.66	0.41	S
Matorral sarcocaulé	9.64	0.10	3.17	0.05	0.00	0.12	-0.37	=
Matorral sarcocaulé con desmonte	5.85	0.06	3.83	0.06	0.00	0.14	-0.01	=
Pastizal inducido	3.04	0.03	4.00	0.06	0.00	0.15	0.34	=
Selva baja caducifolia	19.20	0.20	6.67	0.11	0.00	0.21	-0.37	=
Área urbana	4.95	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	N
TOTAL	93.92	1.00	63.33	1.00				

$$\chi^2 = 30.06, \text{ gl} = 7, \alpha = 0.05.$$

S indica selección, = indica uso proporcional a su disponibilidad, N indica no utilizado

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Discusión.

De las 63 especies de aves rapaces diurnas catalogadas en México (Navarro y Gordillo, 2006), 34 tienen poblaciones migratorias. De estas, una gran proporción permanece en nuestro país, donde se dispersa por diferentes hábitats para permanecer durante la época no reproductiva (Medellín *et al.*, 2009). Estos autores reconocen la necesidad de realizar estudios a nivel regional, para determinar la diversidad y abundancia de rapaces y zopilotes migratorios por hábitat y región, ya que en el panorama actual de conservación de aves migratorias en nuestro país, probablemente las rapaces y zopilotes migratorios sean el grupo con la necesidad más crítica de atención.

Seis de las especies documentadas en este estudio (*Elanus leucurus* –denominado *Elanus caeruleus*-, *Parabuteo unicinctus*, *Falco peregrinus*, *Falco sparverius*, *Polyborus plancus* –denominado *Caracara cheriway*-, *Cathartes aura* y *Coragyps atratus*), son las mismas que reportó Quintero *et al.* en 2009, en una zona de cultivo de caña de azúcar en el municipio de Ahome. (Poco más del 32% de las rapaces diurnas reportadas por la CONABIO para el estado de Sinaloa, fueron encontradas en el área de estudio. Es de destacar el caso de *Elanus leucurus* (*Elanus caeruleus*), que no estaba en el catálogo de la CONABIO para la entidad, aunque ya había sido documentado en áreas agrícolas, tal y como se encontró en este estudio (Quintero *et al.*, 2009). El hecho de haber registrado solamente una observación de esta especie a lo largo de seis muestreos, permite aventurar que se trataba de una especie migrante, de forma similar al registro único de *Falco peregrinus*. De hecho, sorprendió que esta especie estuviera tan alejada de las marismas y esteros, en donde es usual que acompañe a las poblaciones de aves acuáticas migratorias que invernan en el litoral sinaloense Enderson *et al.* (1991) encontraron a finales de los años 90s, que hacia la costa, cerca de Culiacán, *F. peregrinus* era un depredador frecuente de las comunidades invernantes de aves acuáticas y ribereñas, aunque la frecuencia con que se le observó fue muy baja (hasta 39 km por ave). En contraste, estos mismos autores encontraron que *F. columbarius* fue hasta tres veces más frecuente que *F. peregrinus* en la misma zona, lo que contrasta con lo encontrado en este trabajo, ya que *F. sparverius* fue más frecuente, en tanto que *F. columbarius* fue más raro.

Otro hallazgo interesante fue el registro de *Parabuteo unicinctus*, especie sujeta a protección especial. Se le encontró en dos de los seis recuentos en el mismo sitio; en una de las veces se encontró una pareja. Ello induce a pensar que se trata de una pareja residente, que ha estado utilizando uno de los hábitats más escasos en el área de estudio (matorral sarcocaulé), situación preocupante para su sobrevivencia, dado el avance de la frontera agrícola.

En el pasado, se han recuperado anillos de ejemplares migrantes de *Buteo jamaicensis* en el norte de Sinaloa, muy cerca del área de estudio de este trabajo, provenientes de Idaho, en los Estados Unidos de Norteamérica (Steenhof *et al.*, 1984), lo que induce a pensar que los ejemplares vistos puedan estar invernando. Sin embargo, durante los trabajos de campo no se encontraron aves marcadas, por lo que tampoco puede negarse que se trate de aves residentes.

Otra especie de Accipitrídeo documentada fue *Buteo nitidus*, la cual se le encontró en hábitats tan distintos como los pastizales inducidos y las selvas bajas caducifolias, siendo mayor su abundancia en este último. Debe destacarse que durante el estudio, se encontraron parejas en actitud de cortejo, por lo que debe tratarse de poblaciones residentes.

El aspecto más destacado de este estudio, fue el encontrar que la mayor parte de las aves rapaces diurnas fue contada sobre sitios de selva baja caducifolia perturbados por la apertura de la frontera agrícola. Aún cuando este tipo de hábitat no presentó las densidades más altas ni la mayor riqueza y diversidad de especies, el hecho de que su utilización estuviera por encima de su disponibilidad, ha confirmado su importancia como hábitat seleccionado por la comunidad de rapaces diurnas en el norte de Sinaloa, lo que coincide con lo documentado en las selvas bajas caducifolias del occidente de Jalisco, donde Ramírez-Albores (2007) levantó un listado de 135 especies de aves, incluidas las familias de rapaces diurnas consideradas en este trabajo. Una de las posibles causas de esta aparente selección, puede estar asociado a la proliferación de zonas ecotonales y a la existencia de abundantes comunidades de pequeños mamíferos (roedores y lagomorfos), que son comunes a las áreas abiertas al cultivo, tal y como ha sido documentado en casos similares en la entidad (Quintero-Romanillo *et al.*, 2009). Aún cuando no se dispone de información cuantitativa que demuestre lo anterior, si fue posible observar liebres y pequeños roedores silvestres en sitios abiertos a la agricultura a lo largo de la ruta de muestreo.

Lo anterior lleva a reflexionar sobre la necesidad de proteger y conservar las rapaces diurnas en los hábitats sujetos a modificaciones por la extensión de la frontera agrícola. El servicio ambiental que prestan las aves rapaces como controladores biológicos, se ha documentado en países como Panamá, en donde la sobre-población de roedores llegó a relacionarse con la propagación de enfermedades como el virus Hanta (Mendez *et al.*, 2006). Estos mismos autores destacaron además otro beneficio de las rapaces diurnas, como especies bio-indicadoras de la salud de los ecosistemas. En este sentido, la existencia de *Falco peregrinus* en el norte de la entidad, puede ser de ayuda en el seguimiento a los problemas de contaminación ambiental causados por el uso de pesticidas órgano-clorados (Mora, 1997), aunque la rareza de esta especie en este trabajo puede ser un llamado de atención en cuanto a posibles efectos residuales de los pesticidas en el área de estudio. Sin embargo, la particular abundancia de las

especies carroñeras (*Cathartes aura*, *Coragyps atratus* y *Polyborus plancus*), en este trabajo, pudiera ser indicativa de comunidades bióticas sanas.

Más allá de los problemas de contaminación y pérdida del hábitat, una de las amenazas más reconocidas y preocupantes que afectan el futuro de las aves rapaces diurnas en nuestro país, es su caza incidental y persecución directa (Medellín *et al.*, 2009), con frecuencia asociado a la ignorancia y a temores supersticiosos de la población rural. Es por ello, que debe ponerse mayor énfasis en el involucramiento de las comunidades rurales de la región norte de Sinaloa, para fomentar un cambio de actitud de los pobladores locales hacia las aves rapaces, mediante la educación ambiental informal y la investigación acción participativa, de forma similar a lo que ya se hace en otros países (Mendez *et al.*, 2006; Barreda, 2010).

CONCLUSIONES

- Se registraron un total de 10 especies de aves rapaces diurnas (orden Falconiformes) repartidas en tres familias, (*Cathartidae*, *Accipitridae* y *Falconidae*) en la carretera que comunica el ejido “El Sufragio” (municipio de El Fuerte) con la cabecera municipal de Choix.
- Las especies más abundantes fueron las de la familia *Cathartidae* (*Cathartes aura* y *Coragyps atratus*), seguidas de las especies de la familia *Falconidae*, mientras que las menos abundantes fueron las de la familia *Accipitridae*.
- Los hábitats con mayor riqueza de especies fueron los sitios con agricultura de riego, la selva baja caducifolia y el matorral sarcocaulé fragmentado por el desmonte.
- Los hábitats con mayor diversidad de rapaces diurnas fueron los sitios con agricultura de riego y la selva baja caducifolia.
- Los hábitats con mayor equidad de rapaces, fueron la selva baja caducifolia, el matorral sarcocaulé y los sitios con agricultura de riego.
- Los sitios de agricultura de temporal con vegetación secundaria de selva baja caducifolia, fueron seleccionados por la comunidad de rapaces diurnas, y se distinguieron por presentar un nivel intermedio en riqueza, diversidad, equidad y dominancia de especies de rapaces, en relación con los otros tipos de hábitat, que fueron utilizados en proporción a su disponibilidad. Solamente las áreas urbanas no fueron utilizadas por las rapaces.

- Deben realizarse estudios más profundos para caracterizar el hábitat que las rapaces diurnas utilizan más allá de lo esperado, para identificar posibles requerimientos específicos de hábitat, y proponer medidas de protección y conservación integrales.

BIBLIOGRAFÍA

- Barreda Leyva, Naylien. 2010. Vinculando a la comunidad en los conteos de aves rapaces migratorias (aves: falconiformes) en el este de Cuba. *Ra Ximhai*. 6(3): pp. 479-486.
- Berlanga, H., Rodríguez-Contreras, V., Oliveras de Ita, A., Escobar, M., Rodríguez, L., Vieyra, J., Vargas, V. 2008. Red de Conocimientos sobre las Aves de México (AVESMX). CONABIO.
- Castillo-Guerrero, José Alfredo; González-Medina, Erick; González-Bernal, Marco Antonio. 2009. Patrones de presencia y abundancia de aves terrestres en la isla Saliaca, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 80: pp. 211-218.
- D. O. F. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial*. Jueves 30 de diciembre de 2010. (Segunda Sección). 78 p.
- Enderson, J. H., C. Flatten and J. P. Jenny. 1991. Peregrine falcons and merlins in Sinaloa, Mexico, in winter. *J. Raptor Res.* 25(4): pp. 123–126.
- Engilis, A. J., Oring, L. W., Carrera, E., Nelson, J. W. y Lopez, A. M. 1998 Shorebird surveys in Ensanada Pabellones and Bahía Santa Maria, Sinaloa, Mexico: critical winter habitats for Pacific flyway shorebirds. *Wilson Bull.* 110: pp. 332–341.
- Guevara Medina, M., Castillo Guerrero, J., y González Bernal, M. 2008. Presencia y abundancia de aves de la isla Farallón de San Ignacio, Sinaloa. *Huitzil. Revista de Ornitología Mexicana*, pp. 20-28.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D. 2001. PAST: paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica* 4(1): 9 pp. En: <http://folk.uio.no/ohammer/past>.

- INEGI. 2012. Sitio del INEGI en Internet. www.inegi.org.mx
- Llorente-Bousquets, J., y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 283-322.
- Manly, B., L. McDonald and D. Thomas. 1993. *Resource selection by animals. Statistical design and analysis for field studies*. Chapman & Hall. London. 177 p.
- Medellín, R.A., Abreu-Grobois, A., Arizmendi M., Mellink, E., Ruelas, E. Santana, E, Urbán, E. y Elías, I. 2009. Conservación de especies migratorias y poblaciones transfronterizas, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 459-515.
- Medina Torres, Salvador Martín; Márquez-Olivas, Marcelo; García-Moya, Edmundo. 2007. “Uso y selección de embalses por el pato mexicano (*Anas diazi*) en la región del llano, Aguascalientes-Jalisco, México”. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 23(2): pp. 163-181.
- Méndez, P., M. Curti, K. Herrera de Montuto y A. Benedetti. 2006. *Las aves rapaces: guía didáctica de educación ambiental*. The Peregrine Fund/ Fondo Peregrino – Panamá. 112 p.
- Mora, M. A. 1997. Transboundary pollution: persistent organochlorine pesticides in migrant birds of the southwestern United States and Mexico. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 16 (1): pp. 3–11.
- Navarro, S.A. y A. Gordillo. 2006. *Catálogo de autoridad taxonómica de la avifauna de México*. Museo de Zoología, Fac. de Ciencias, UNAM. Base de datos SNIB-CONABIO, proyecto CS010.
- Vazquez-Perez, José Raúl, Enriquez, Paula L. y Rangel-Salazar, José Luis. 2009. Diversidad de aves rapaces diurnas en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 80 (1): pp. 203-209.
- Karen Steenhof, Michael N. Kochert, Marc Q. Moritsch. 1984. Dispersal and Migration of Southwestern Idaho Raptors. *Journal of Field Ornithology* 55(3): pp. 357-368.

- Quintero Romanillo, Alma Lorena, Barreras-Fitch, Roberto C.; Orozco-Gerardo, José Antonio; Rangel Cota, Gerardo. 2009. Determinación de especies de aves rapaces, en el área de abastecimiento de caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) de la Cía. Azucarera de Los Mochis S. A. de C. V., susceptibles de ser utilizadas como control biológico en el manejo integrado de plagas. *Ra Ximhai*. 5(2): pp. 239-244.
- Ramírez Alborez, J. E. 2007. Avifauna de cuatro comunidades del oeste de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: pp. 439- 457.
- Rubio Rocha Y. G., J. A. Beltrán Magallanes, S. M. De La Parra Martínez y A. Sánchez Ruíz. 2006. Reserva Ecológica Universitaria del Mineral de Nuestra Señora, Cosalá, Sinaloa, México: hacia un manejo integral de la biodiversidad. Memoria-Conservación de la Biodiversidad. V Congreso Internacional y XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Disponible en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/CB/EC/CBC-38.pdf.

EFFECTO DE CERDOS ASILVESTRADOS (*Sus scrofa*) EN EL BOSQUE DE PINO-ENCINO DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA “SIERRA LA LAGUNA” B. C. S, MÉXICO

Cecilio Jiménez Romero

Aurora Breceda Solís Cámara

Gustavo Enrique Rojo Martínez

Rosa Martínez Ruiz

Salvador Martín Medina Torres

INTRODUCCIÓN

La invasión de especies exóticas de alto impacto a la biodiversidad, constituye una de las amenazas más serias a la sobrevivencia de miles de especies. Ayudados por los humanos, innumerables especies han colonizado nuevos ambientes, contribuyendo a la extinción de muchos organismos a través de competencia, depredación o alteración de hábitat (Poorter, 1994).

Las especies invasoras son animales, plantas u otros organismos transportados e introducidos por el ser humano en lugares fuera de su área de distribución natural, que han conseguido establecerse y dispersarse en la nueva región donde resultan dañinos, provocando cambios importantes en la composición, la estructura o los procesos de los ecosistemas naturales, poniendo en peligro la diversidad biológica nativa (Lowe *et al.*, 2004).

Después de las destrucciones del hábitat, el impacto por las especies invasoras ha sido identificado como la segunda causa, a escala global, de la pérdida de biodiversidad. Las consecuencias de los daños provocados por las especies invasoras tienen grandes repercusiones económicas y sociales (CONABIO, 2003). Entre las especies de fauna más relevantes encontramos a los cerdos asilvestrados (*Sus scrofa*), considerada como una de las principales especies introducidas invasoras dentro del Programa Global de Especies Invasoras (GISP, 2009).

Los cerdos son animales que se encuentran en muchas partes del mundo en asociaciones con el ser humano o en poblaciones asilvestradas, impactando de manera importante a los ecosistemas naturales. Actualmente está presente de forma introducida en todos los continentes, a excepción de Antártica, así como en muchas islas, con la resultante de que es uno de los mamíferos terrestres de mayor dispersión geográfica (Álvarez *et al.*, 2005).

En México, el cerdo como especie introducida, se encuentra registrada dentro del Sistema de Información de Especies Invasoras y se considera de alta prioridad para el país. Se encuentra a lo largo de todo el territorio nacional, la mayor concentración de esta especie está en los estados del centro y sur del país, su presencia es particularmente importante en las islas. El impacto de *Sus scrofa* sobre la biodiversidad en todas las áreas donde se ha establecido es negativo. En la flora se mencionan modificaciones de la composición de especies, extinción local de plantas, reducción de diversidad, alteración de la cubierta del suelo que facilita la colonización de plantas exóticas. La fauna a su vez, es afectada por la depredación, destrucción de nidos, competencia alimentaria y destrucción de hábitat.

La presencia de *Sus scrofa* en la porción sur de la península de Baja California, data desde el siglo XVIII. En las décadas de los años 40's y 70's, se introdujeron cerdos en las partes altas de la sierra, actualmente Reserva de la Biosfera decretada en Junio de 1994. Se ha distribuido en los ecosistemas únicos de la "Sierra La Laguna", como el bosque de encino y bosque de pino-encino, se han identificados numerosas poblaciones de estos ungulados, siendo el bosque de pino-encino donde se han encontrado mayor frecuencia de efectos por cerdos asilvestrados (Breceda *et al.*, 2009).

Sin embargo, existe poco conocimiento sobre el impacto de los cerdos asilvestrados en la vegetación de esta zona: es por ello que este trabajo tiene como principal objetivo evaluar cuantitativamente el impacto de los cerdos asilvestrados sobre la abundancia de individuos y composición florística del bosque pino-encino en la Reserva de la Biosfera "Sierra La Laguna", B. C. S. México.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto de los cerdos asilvestrados (*Sus scrofa*) en el bosque de pino-encino de la Reserva de la Biosfera "Sierra La Laguna", B. C. S. México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio .

La Reserva de la Biosfera “Sierra La Laguna” se localiza al sur del Estado de Baja California Sur, entre los Municipios de La Paz y Los Cabos, que comprende con un área de 112, 347 hectáreas. Su delimitación queda comprendida entre los 23° 21’ y 23° 44’ latitud norte y 109° 44’ y 110° 10’ longitud oeste (Figura 1).

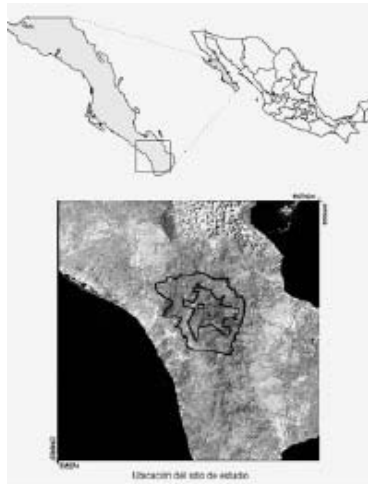


Figura 1. Localización zona del estudio de la Reserva de la Biosfera de la Sierra La Laguna, B .C. S. México.

Se considera como una isla de vegetación en el entorno árido, por las condiciones geomorfológicos del lugar, podemos encontrar diversos ecosistemas como bosque pino-encino, bosque encino, selva baja caducifolia, matorral sarcocaula, únicos del Estado. El sitio de estudio para este trabajo se realizó en la parte alta de la sierra del bosque pino-encino donde abundan una gran cantidad de especies endémicas, que cuenta con un área de 20 000 hectáreas y se encuentra establecida entre los 1800 hasta 2100m s.n.m. (Arriaga, 2002) (Figura 2).



Figura 2. Puntos de Transectos y zonificación

Clima.

El clima en el estado de Baja California Sur, predomina el clima muy seco, se encuentra también clima seco y semiseco. El clima templado subhúmedo predomina en la región de la “Sierra La Laguna”, con una temperatura media anual de 18 a 22°C, y la temperatura promedio más alta hasta de 35°C se presenta en los meses de Julio y Agosto, la más baja es de 9°C. El clima en las partes de la sierra varía en función de la altitud distinguiéndose en tres zonas térmicas; una zona cálida, una semicálida y zona templada seca, y subhúmedo.

En las partes altas del bosque pino-encino se representa un clima C(w), B(e) que se le denomina clima templado subhúmedo con lluvias en verano de julio a octubre, que oscila a una de temperaturas media mensual de 14°C, la temperatura del mes más frío entre 3 y 18°C, y una temperatura de 22°C del mes más caliente, con precipitaciones mayores de 700 hasta los 800 mm anuales (Coria y Díaz 1995). En la parte alta del bosque pino-encino la mayor precipitación ocurre durante el verano, se debe principalmente a las tormentas derivadas de las tropicales o ciclones que se originan en la costa occidental o sur de la República Mexicana, de los meses con mayor precipitación en Agosto a Octubre. La vertiente del Golfo es más seca y calurosa que la vertiente del Pacífico, que es más húmeda y fría. Las lluvias caen como aguaceros de corta duración y de gran intensidad durante los meses de verano, época en la que también inciden los ciclones.

Vegetación.

La incidencia de los factores físicos del medio ambiente de esta área favorecen el desarrollo de diferentes tipos de vegetación a lo largo de un gradiente altitudinal

y están caracterizados por: matorral xérofilo, bosque tropical caducifolio, vegetación de cañada o bosque de galería, bosque de encino y bosque pino-encino. En esta Reserva podemos encontrar especies endémicas como el pino piñonero, el madroño y el encino negro. La presencia de los tipos de vegetación méxicos y del bosque tropical caducifolio son de gran importancia, siendo los únicos bosques de este tipo en todo el estado. La riqueza de las especies es muy alta, se han determinado un total de 130 familias, 522 géneros, con 1,120 especies de plantas vasculares; 153 son endémicas de la Reserva (León de la Luz, 1999) (Figura 3).

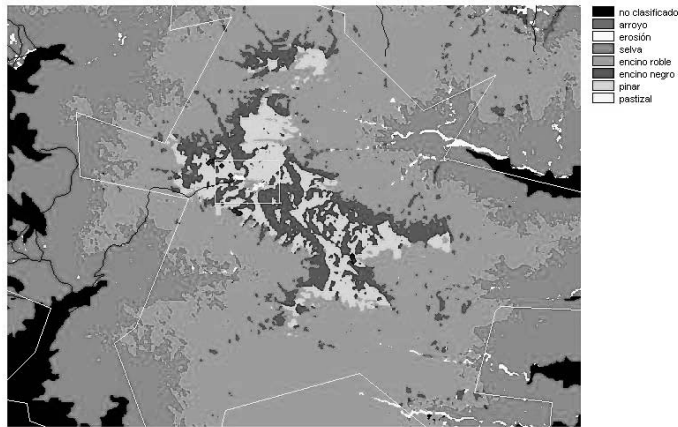


Figura 3. Tipos de vegetación de la Reserva de la Biosfera “Sierra La Laguna”. Baja California Sur.

Fauna.

Los bosques de la “Sierra La Laguna” son una fuente de hábitats críticos para diversas poblaciones silvestres, muchas de las especies requieren áreas de forrajeo y de crianza, cobertura protectora, sitios para refugiar, así como otros satisfactores esenciales que sólo el ambiente forestal proporciona. Es vital que los recursos forestales de la región de la “Sierra La Laguna” se manejen prudentemente para que la variedad de la vida silvestre permanezca en el futuro, se caracteriza como una de las zonas que presentan mayor cantidad de endemismo en todos los grupos taxonómicos, desde los arácnidos hasta los mamíferos. Las serranías de esta albergan una gran riqueza de fauna endémica que es el resultado de su compleja topografía, la heterogeneidad de sus suelos y climas, de su historia geológica, así como su aislamiento geográfico, que data

catorce millones de años.

En esta área se han determinado tres especies de anfibios, con 27 especies de reptiles y 74 especies de aves entre las que se encuentra 12 especies endémicas. Se tienen identificado 30 especies de mamíferos (Gallina *et al.*, 1988). La vegetación de la “Sierra La Laguna” se encuentran rodeados de matorral desértico y de mar, particularmente los bosques de encino, bosque de de pino-encino y la selva baja caducifolio han servido como refugio para aquellas especies con referencia de hábitat particulares y desplazamiento restringidos (Álvarez *et al.*, 1988).

Metodología y obtención de análisis de datos.

Para determinar el impacto de los cerdos asilvestrados en la vegetación se hicieron muestreos a lo largo de los senderos que conducen a diferentes parajes. Los muestreos se efectuaron durante febrero, mayo, octubre 2008 y junio, octubre, noviembre 2009. Con la información obtenida de los muestreos realizados se determinó el impacto de *Sus scrofa* en la abundancia de individuos y la composición florística para este trabajo (Figura 2).

Composición florística.

Todos los individuos de cada parcela estudiada y sus alrededores, fueron identificados. Las determinaciones de las especies se hicieron en el campo, y el material desconocido se transportó al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), con la ayuda del personal del Herbario del Centro de Investigaciones (HCIB) se llegaron a determinar las especies. Se consultó la siguiente bibliografía: Wiggins (1980) y León de la Luz (1999). Con la información obtenida se elaboró un listado florístico y se determinó la riqueza específica por familia y el número de individuos de cada familia.

Forma de crecimiento.

Todas las especies de plantas registradas en el campo de estudio se clasificaron dentro de cuatro formas de crecimiento (árbol, arbusto, hierba perenne y suculenta), siguiendo el criterio de Arriaga y León de la Luz (1980), y de León de la Luz (1999) y observaciones de campo. Se elaboraron análisis para determinar la abundancia de individuos de cada forma de crecimiento dentro de la comunidad estudiada.

Con el objeto de conocer la participación de cada forma de crecimiento se efectuó

un análisis estadístico y se hicieron comparaciones con el fin de determinar las diferencias, en sitios con y sin impacto por la actividad de cerdos (Figura 3), y se elaboraron gráficas.

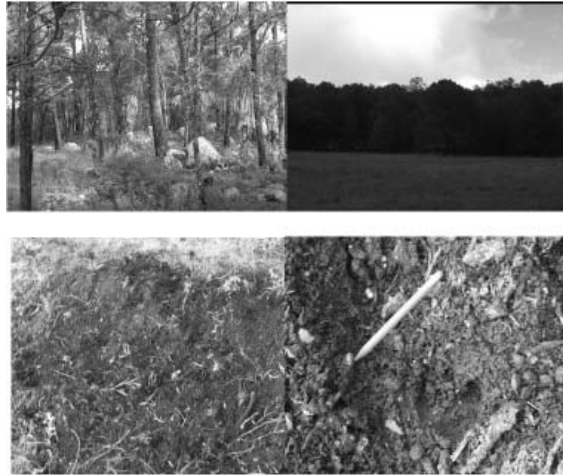


Figura 4. En la parte superior se ven imágenes del bosque de pino-encino y en la parte inferior rastro y hozadero de los cerdos.

Impacto de los cerdos en la vegetación.

Para evaluar el impacto de vegetación y suelo, se levantaron 53 muestreos en cuadrantes de 5x5 (25m²) cada uno. En cada cuadrante se registraron las siguientes variables; los rastros de cerdos, rocosidad (%), altitud (m), porcentaje del área afectada (%), pendiente (%), exposición de laderas (norte, sur, este, oeste) y todos los individuos vegetales (árboles, arbustos, hierbas perennes y suculentas). Para cada individuo se registró: especie, altura máxima, la cobertura en dos dimensiones y para los individuos arbóreos de gran talla se registró el diámetro a la altura del pecho (DAP) con una cinta métrica. Los rastros considerados fueron huellas, excretas, hozaderos, revolcaderos y rascaderas, la pendiente fue calculada empleando un clinómetro.

La información obtenida de las muestras se capturó en hoja de excel, posteriormente, y para caracterizar la vegetación se calculó: la cobertura de acuerdo con la función de elipse (Arriaga y León 1989):

$$C = 3.1416 * D^1 * d^2:$$

Donde:

C: es la cobertura.

D^1 ; es el diámetro mayor de la proyección de la copa.

d^2 ; el diámetro menor.

Se determinó la cobertura por especie de cada sitio y se sumó la abundancia de individuos. Para evaluar el impacto se estimó la abundancia individuos en sitios con y sin afectación por cerdos asilvestrados. Con los datos obtenidos se hicieron gráficas en sitios con y sin afectación, y se realizaron análisis estadísticos.

Impacto Semillas.

Con el objeto de determinar el impacto en la abundancia de semillas de encino y pino. Se hicieron muestreos de semilla y contenido de suelos en 167 sub-parcelas de 1x1 ($1m^2$) en sitios con y sin afectación, obtenido un total de 99 sitios sin afectación y 68 sitios con afectación por cerdos. En cada sub-parcelas se colectaron todas las semillas, frutos, raíces removidas, hongo, larvas y artrópodos.

Del material colectado en el suelo, se clasificó y se calculó la abundancia de semillas de encino y pino (Figura 5); las variables clasificados fueron semillas nuevas con y sin parásitos (la cual se identifica mediante la presencia de orificios en las bellotas), semillas viejas y piñones, en sitios con y sin afectación. Con los datos obtenidos se realizaron análisis estadísticos.



Figura 5. Clasificación de los elementos encontrados en el suelo, del bosque pino- encino en sitios con y sin afectación en el Laboratorio de Ecología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

Para determinar el índice de regeneración, se analizaron las especies arbóreas. El índice de regeneración se definió como la proporción de plantas menores de 100cm (1m), entre el número total de individuos arbóreos en sitios con afectación y sin afectación.

Con la función:

$$IR = n1/N$$

Donde:

IR = índice de regeneración.

n1= número de individuos menores de 1m

N= número total de individuos

Análisis estadísticos.

La abundancia de individuos fue analizada con una prueba no paramétrica de Mann-Whitney (Zar, 1999) después de verificar que no estaban distribuidos normalmente, con el objeto de determinar diferencias significativas en la abundancia de individuos y en la composición florística en sitios con y sin afectación por cerdos.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Composición florística.

Se identificaron 42 especies de plantas vasculares que pertenecen a 25 familias y 41 géneros.

En la Figura 6 se muestra la riqueza específica por familia, la mayoría de las familias contienen solamente una o dos especies con excepción de *Euphorbiaceae* y *Fabácea* por comprender cinco especies cada una.

Forma de crecimiento.

La mayoría de las especies registradas son herbáceas con 19 especies (Figura 10), seguido por los arbustos con 16 especies y los árboles con 6 especies, las otras formas de crecimiento presentan muy pocas especies en la vegetación del bosque pino-encino.

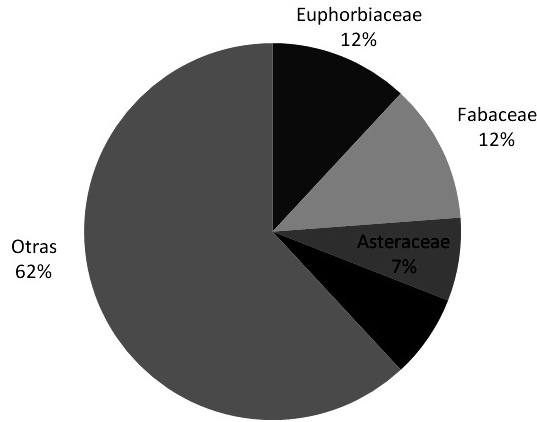


Figura 6. Proporción de la riqueza específica por familias del bosque pino-encino de la “Sierra La Laguna” B. C. S. México.

Forma de crecimiento.

La mayoría de las especies registradas son herbáceas con 19 especies (Figura 7), seguido por los arbustos con 16 especies y los árboles con 6 especies, las otras formas de crecimiento presentan muy pocas especies en la vegetación del bosque pino-encino.

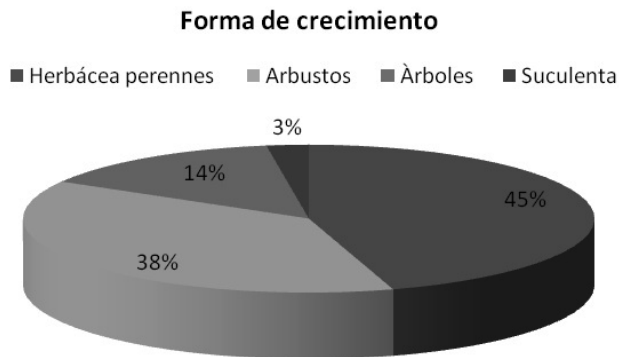


Figura 7. Proporción total de forma de crecimiento de las especies registradas en sitios con y sin afectación de los cerdos asilvestrados.

La fracción leñosa esta compuesta por 22 especies, está integrado por árboles como pino (*Pinus lagunae*), encino negro (*Quercus devia*), encino roble (*Quercus tuberculata*), madroño (*Arbutus peninsularis*), sotol (*Nolina beldingii*) y cerezo (*Prunus serotina*). Las especies del estrato arbustivo de la flora vascular más frecuentes son tabardillo (*Calliandra peninsularis*), *Bernardia lagunensis*, *Acalypha comonduana*, *Mimosa xantii* y *Dodonaea viscosa*.

Entre las especies herbáceas perennes se encuentran tacote (*Viguiera similis*), Verbesina erosa, chicura (*Lepechinia hastata*), árnica (*Arracacia brandegei*), Galvecia juncia y cempasúchil (*Tagetes lacera*), *Sisyrichium halophilum* y *Piptochaetium fimbriatum*. Se encontró una especie suculenta, biznaga (*Ferocactus penisulae*).

Impacto en la vegetación.

En los Cuadro 1 y 2 se muestran las especies que se encontraron en sitios con y sin afectación por cerdos asilvestrados, conforme a estos resultados se observa que en cada una de las condiciones estudiadas se presentaron 32 especies en cada una habiendo 10 especies exclusivas a sitios con y otras 10 solamente en sitios sin afectación: sin embargo las especies en ambas condiciones se encuentran con bajas presencias.

Respecto de la composición florística en sitios con y sin afectación por cerdos asilvestrados no se encontraron diferencias, las especies con más frecuencias se mostraron *Calliandra peninsularis*, *Mimosa Xantii*, *Acalypha comonduana*, *Viguiera similis*, *Lepechinia hastata* y *Verbesina erosa* en ambas condiciones tanto en sitios con afectado y sin afectado por cerdos asilvestrado.

En el Cuadro 1 se muestra la frecuencia de las especies por su forma de crecimiento. La mayor frecuencia se presento las hierbas perennes, ya que el 39% de las especies en sitios con y sin afectación por cerdos asilvestrados. Los resultados en cuanto a la abundancia de individuos de los 53 muestreos estudiados, fue un total de 1,888 individuos, con un promedio general de 36 ± 14.6 , lo cual se obtuvo un total de 32 muestreos con afectación por cerdos con un promedio de 37 ± 12.7 , (1177) total de abundancia de individuos y para sitios sin afectación por cerdos se obtuvo 21 muestreos que representa un promedio de 37 ± 17.3 , (711) total de abundancia de individuos.

Cuadro 1. Proporción de las frecuencias de las especies encontradas en sitios con y sin afectado por cerdos asilvestrados.

	Sin Afectado	Con afectado	%
Árbóreas	61	16	28.00
Arbustos	38	51	32.36
hierbas perennes	45	63	39.27
Suculentas	0	1	0.36

Los resultados en cuanto a la abundancia de individuos de los 53 muestreos estudiados, fue un total de 1,888 individuos, con un promedio general de 36 ± 14.6 , lo cual se obtuvo un total de 32 muestreos con afectación por cerdos con un promedio de 37 ± 12.7 , (1177) total de abundancia de individuos y para sitios sin afectación por cerdos se obtuvo 21 muestreos que representa un promedio de 37 ± 17.3 , (711) total de abundancia de individuos.

Asimismo en el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos sobre la abundancia de individuos en sitios con y sin afectación por cerdos. Como se puede observar la abundancia de individuos se presentan en ambas condiciones tanto en sitio afectado y sin afectado por cerdos.

Cuadro 2. Proporción de abundancia de individuos en sitios con y sin afectación por cerdos asilvestrados.

	Con afectación		Sin afectación	
	Individuos	(%)	Individuos	(%)
Árboles	87	7	82	12
Arbustos	717	61	410	58
Herbáceas perennes	372	31	219	31
Suculenta	1	0	0	0

La abundancia total de individuos, se muestran los arbustos con mayor abundancia de individuos de los observados, seguidos por las hierbas perennes y después por árboles. La abundancia de las otras formas de crecimiento participa con una escasa proporción sobre la abundancia de esta vegetación. Las especies más

representativas en ambos sitios tanto en sitios con y sin afectación por cerdos se obtuvo; para los arbustos *Calliandra peninsularis*, *Acalypha comonduana*, *Mimosa xantii*, seguidos por las herbáceas perennes con *Lepechinia hastata*, *Verbesina erosa* y *Viguiera similis*. Para el estrato arbóreo se encontró *Quercus devia*, seguido por *Pinus lagunae* y *Quercus tuberculata*.

En el Cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos del análisis estadísticos de Mann-Whitney. Los resultados sobre el efecto de los cerdos asilvestrados en la vegetación no mostraron diferencias significativas respecto a la abundancia de individuos en sitios con y sin afectación por cerdos

Cuadro 3. Análisis de las formas biológicas del bosque pino-encino, en la prueba de Mann-Whitney.

Nivel de significación de $p < 0.05$

Categoría (variables)	Mann-Whitney U	p^*
Arbóreas	264.00	0.190431
Arbustos	535.00	0.560625
Herbáceas perennes	512.50	0.321651
Suculenta	555.00	0.84572

El impacto de los cerdos asilvestrados en la abundancia de individuos no tuvo tendencias significativas entre sitios los sitios de estudio en la vegetación del bosque pino-encino y de la composición florísticas. Con respecto a estos resultados no nos permite concluir que estas variaciones se relacionen principalmente con la actividad de los cerdos

El resultado con el respecto del índice de regeneración en sitios con y sin impacto por cerdos el resultado se obtuvo un ($U=325.50$ $p=0.848572$). El resultado obtenido no mostró diferencias significativas para el impacto de los cerdos asilvestrados en el índice de regeneración de los árboles.

En general el índice de regeneración de los árboles menores de 1metro en los sitios con y sin afectación indicó un total de 48%, es decir, en sitios con y sin afectación, hay dos individuos de plántulas (Figura 7). De acuerdo de los resultados observados del índice de regeneración de los arboles no mostraron

tendencias significativas.

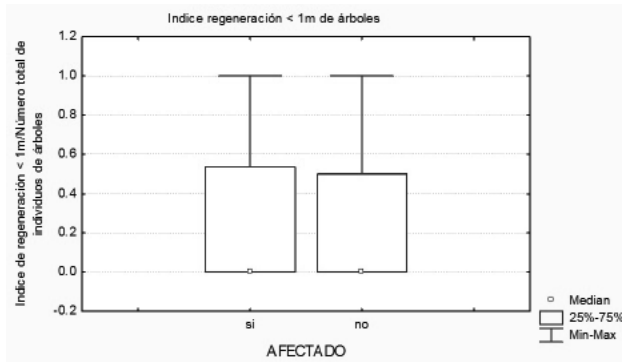


Figura 7. Índice de regeneración de individuos de árboles menores de (1m) metros en sitios con y sin afectación.

Impacto Semillas.

Respecto de la abundancia de semillas de encino y pino dentro de los 167 muestreos estudiados, fue un total de 1931, con un promedio general de 19 ± 26.9 , lo cual se obtuvo con un total de 68 sitios de muestreos en sitios con afectación con un promedio de 13.4 ± 22.6 , (912) de la abundancia total y comprenden un total de 108 sitios de muestreos sin afectación, lo cual representa un promedio de 19.50 ± 26.9 , (1931) de la abundancia total de individuos de semillas.

En la Figura 8 se muestra la proporción total de los elementos colectados en el suelo, en la cual los piñones representan con mayor abundancia con 43% (1253), seguido por las bellotas viejas con 27% (770), para bellotas nuevas sin parásitos con 22% (624) y las bellotas nuevas con parásitos representó con 8% (214) de abundancia totales tanto en sitios con y sin afectación por cerdos asilvestrados.

De tal manera en el Cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos en sitios con y sin afectados por cerdos. Además en el suelo se encontraron caracoles, larvas y artrópodos, así como abundantes restos de conos y raíces.

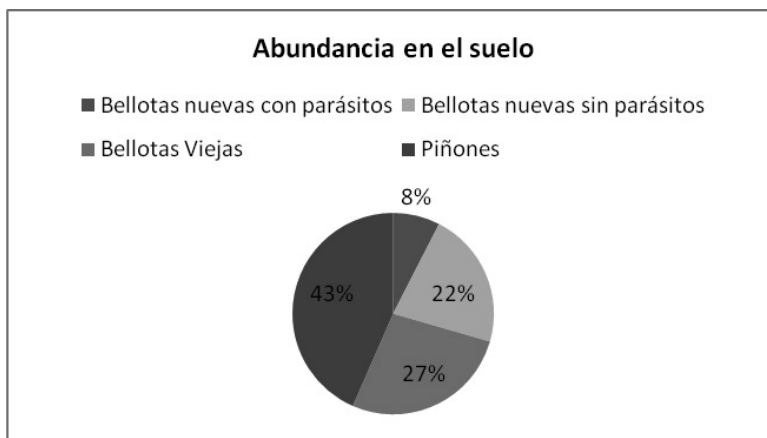


Figura 8. Proporción de la abundancia de los elementos encontrados en el suelo.

Cuadro 4. Proporción total de número semillas colectadas en el suelo del bosque pino encino.

	Sin afectado	(%)	Con afectado	(%)
Bellotas nuevas con parásitos	134	7	80	9
Bellotas nuevas sin parásitos	431	22	193	21
Bellotas viejas	465	24	305	33
Piñones	901	47	334	37

En la Figura 9 se muestra la abundancia promedio de los elementos colectados en el suelo (semillas de encino y pino) en sitios con y sin afectación por cerdos. De acuerdo con estos resultados, con respecto al efecto del cerdo y la abundancia de semillas en el suelo, no se encontraron diferencias en la abundancia de semillas en sitios con y sin afectación por cerdos, excepto de los piñones que si mostró diferencias significativas.

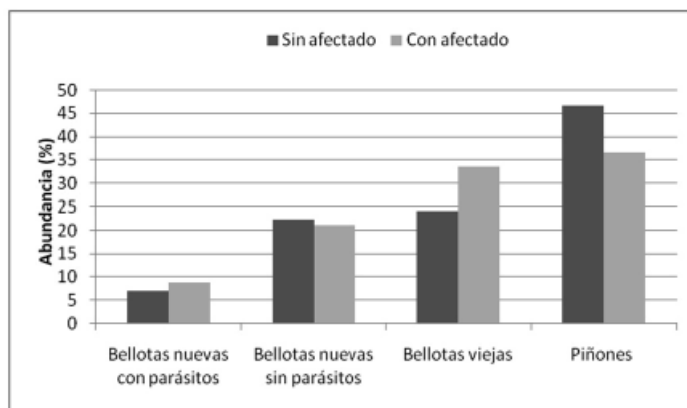


Figura 9. Abundancia promedio de lo elementos colectados en sitios con y sin afectación por cerdos.

Asimismo en la Figura 10 se muestran los resultados obtenidos de los elementos colectados de los cuadrantes de (1m²) en sitios con y sin afectación por cerdos asilvestrados. Con respecto al impacto del cerdo y el número de semillas en el suelo en sitios con y sin impacto, no se encontró diferencias significativas en las bellotas nuevas con parásitos, bellotas nuevas sin parásitos y bellotas viejas. Para los piñones si tuvieron tendencias significativas. Asimismo nos muestra la abundancia promedio de los elementos encontrados en el suelo en los meses de muestreo, lo cual se encontró en febrero con mayor promedio de 3±4.4, en sitios con afectación por cerdos las bellotas nuevas, tanto en sitios sin afectación por cerdos y para el mes de octubre se mostraron los piñones con mayor promedio de 25±41.8, en sitios con afectación, y para en sitios sin afectación fue muy bajo en promedio.

La diferencia entre la abundancia de bellotas se relaciona con la estacionalidad ya que durante los meses de otoño e invierno es cuando se pueden encontrar con mayor abundancia de frutos, en lo particular de las bellotas de encinos y piñones, en tanto que en el verano y primavera se puede presentar una considerable escasez disminución de semillas de encino.

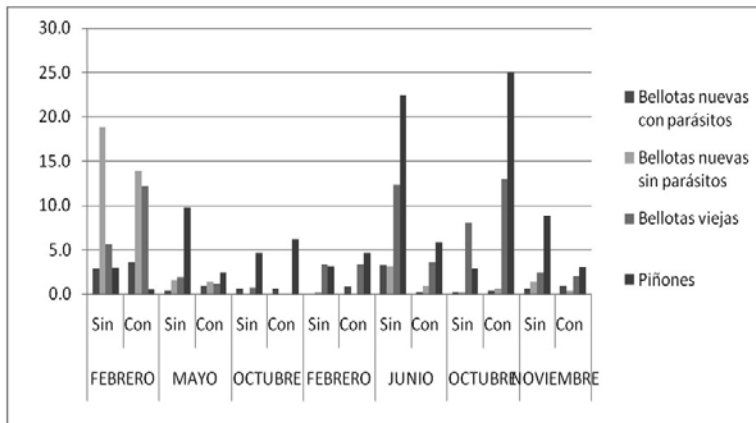


Figura 10. Abundancia promedio de los elementos encontrados en los meses de estudio.

Discusión.

La presencia de cerdos asilvestrados en la Sierra La Laguna se tiene registrada durante el siglo XX cuando se introducen en las zonas altas de la sierra en los años de la década de los cuarenta y ochenta. Estos ungulados se distribuyen en áreas con la disponibilidad de alimento, agua y cobertura vegetal, como lo reportan en otras regiones, se mueven en busca de estos recursos.

Respecto de la composición florística del bosque pino-encino, de las especies registradas en este trabajo constituyen una pequeña proporción total registrado por León-Domínguez (1989); León de la Luz (1999), que determinó un total 72 familias y con 288 especies de flora vascular de este ecosistema. De tal manera los resultados con respecto de la riqueza específica por familia concuerdan con el dato observado de Mercado (1993), quien obtuvo de las familias *Euphorbiaceae*, *Leguminosae* y *Compositae* con mayor representación de este bosque pino-encino. También concuerdan con los resultados reportado por Arriaga y Mercado (2004) de las familias con mayor representación específica para este ecosistema fueron las (*Euphorbiaceae*, *Asteraceae* y *Fabaceae*).

El resultado obtenido por formas biológicas de este estudio la mayoría de las especies fueron las herbáceas perennes, siguiéndole con la importancia los arbustos y finalmente por árboles y las otras formas de crecimiento presentan muy pocas especies en la vegetación del bosque pino-encino.

Los resultados obtenidos concuerdan con el trabajo de León de la Luz, (1999), quien determinó un total de 288 especies, que comprende 135 especies de herbáceas perennes, con 28 arbustos y con 13 arbóreas principales de este bosque, y con 8 suculentas, respectivamente.

Los resultados sobre el efecto de los cerdos asilvestrados en la vegetación no mostraron diferencias significativas en sitios con y sin afectación en la abundancia de individuos, composición florística e índice de regeneración. Se encontró los arbustos con mayor abundancia de individuos, seguidos por herbáceas perennes y después los arbóreas dominantes de este bosque pino-encino. Así como tampoco en el número de las semillas colectadas no mostraron tendencias significativas tanto en bellotas nuevas con parásitos y bellotas viejas, en sitios con y sin afectación por actividad de cerdos. Excepto de las bellotas nuevas y piñones si se mostraron tendencias significativas de los cerdos asilvestrados.

De acuerdo con los resultados observados en la abundancia de individuos, composición florística e índice de regeneración no nos permiten concluir que esta variación se relacione con la actividad de cerdos, excepto de las semillas que si se observaron tendencias significativas, es probable que uno de los factores que influyen en el efecto de la vegetación sea la alta incidencia de factores naturales e incidencias de parásitos en las semillas de las especies y de los insectos forestales, como descortezadores.

En el bosque pino-encino también se encuentra en gran población de venado bura (*Odocoileus hemionus*), y es uno de los consumidores de plantas juveniles de encino, sin embargo es posible que también influyan el impacto de este bosque. Comparado con el análisis estadístico de este estudio, no tuvieron respuestas significativas. En sitios con afectación se encontraron con mayor abundancia de individuos tanto en sitios sin afectado, se puede concluir que la población de cerdos en el bosque pino-encino es una población pequeña, por lo mismo se puede considerar que se trata de una población dinámica, presenta una gran movilidad en función de la disponibilidad de alimentos y agua.

Los cerdos asilvestrados tienen una gran importancia como impactos positivos y negativos. La primera constituyen una fuente de alimento para la sociedad, su carne es mejor presentada, que la de los cerdos de granja, por que se alimentan de bellotas y contienen menos grasas. Es considerado por ser un ungulado

cinagético en diferentes áreas donde se ha establecido, también puede presentar impacto positivo sobre el control de la población de roedores, insectos y larvas perjudiciales.

La segunda por ser un problema para los ecosistemas donde se establece provoca descortezado parcial de algunas plantas vegetales, acción que realiza como marcaje territorial. Por ser animales omnívoros, ocasionan modificaciones sobre la composición de especies, extinción local de plantas, reducción de diversidad, alteración de la cubierta del suelo que facilita la colonización de plantas exóticas. De tal manera que para alimentarse selecciona vegetación con bulbos y rizomas, es el principal depredador de las semillas de piñones, bellotas y bayas. En la fauna afecta en la destrucción de nidos, compite por alimento con fauna nativa y destruye hábitat, a si como el consumo de insectos y reptiles.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se establecen las siguientes conclusiones:

En la composición florística se identificaron 42 especies, pertenecientes a 25 familias y 41 géneros. Las familias mejor representadas fueron las Euphorbiaceae, Fabáceae, Asteraceae, y Poaceae. Se resaltó poca riqueza específica de los diferentes plantas vasculares, están representadas por una sola especie, y algunos están representadas dos especies de cada familia, excepto de las primeras dos familias que cuentan por cinco especies de cada una.

Respecto con la forma de crecimiento se encontró las herbáceas perennes con 19, los arbustos con 16 especies, con 6 especies de árboles, y con solo una especie de suculenta.

Con respecto del banco de semillas se encontró un 38% de piñones en abundancia total, siguiendo con bellotas viejas con 8%, y 27% bellotas nuevas sin parásitos y con 7% total se encontró bellotas nuevas con parásitos.

Con respecto al efecto que la actividad de cerdos asilvestrado que ocasiona en el hábitat, principalmente por el suelo escarbado y removido fueron evidentes en

aéreas con mayor concentración en observaciones directa a campo. Sin embargo, en este estudio no dieron posibles tendencias significativas en sitios con y sin afectación, en lo relacionado en la abundancia de individuos, composición florística e índice de regeneración.

Asimismo para precisar los datos obtenidos en este trabajo, se realizó el análisis estadístico con el fin de determinar posibles diferencias en el impacto de los cerdos asilvestrados, sobre la abundancia de individuos y la composición florística, aunque no mostraron diferencias significativas, excepto de la abundancia de semillas de pino y encino si muestran ciertas diferencias significativas en las bellotas nuevas y piñones en sitios con afectación y sin afectación por cerdos.

Se encontró mayor abundancia de individuos en ambos sitios tanto en sitios con y sin afectación, se puede concluir que la población de cerdos en el bosque pino-encino es una población pequeña, por lo mismo se puede considerar que se trata de una población dinámica, presenta una gran movilidad en función de la disponibilidad de alimentos y agua.

De acuerdo con los datos obtenidos y observaciones de los muestreos realizados en este estudio, al parecer también hay cambios estacionales en la presencia de los recursos alimenticios. Durante en otoño e invierno a los cerdos se les encuentra en las zonas altas de la sierra, principalmente en los bosques de encino y pino-encino, que es durante esta época cuando se producen frutos de encino y pino, principalmente dieta del cerdo.

Durante el verano, es la época del año crítico para los cerdos ya que no existe tanta disponibilidad de alimentos, es cuando se ha terminado la producción de frutos de encinos, los cerdos migran en donde existen otros recursos alimenticios, principalmente en las zonas de las cañadas en busca de frutos de palmas u a zonas más bajas en la selva baja caducifolia donde encuentran otros frutos susceptibles para la dieta de los cerdos.

En cuanto a la población de los cerdos asilvestrados en la Sierra La Laguna todavía es común, en lo particular todavía no se cuenta con datos definidos respecto a la densidad de los cerdos, la dinámica poblacional de este animal es variable, es por ello es difícil estimar la densidad poblacional de los cerdos. Breceda *et al.* (2009) señalan que la población de los cerdos es común, con

la derivada continua de la fuga de cerdos domésticos, convirtiéndose en la población asilvestrada. Las piaras se concentran en forma importante en sitios específicos debidas principalmente a la presencia de producción de bellotas de encino, piñones y agua, elementos importantes en la selección del hábitat donde se establezcan.

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta información fue posible gracias al apoyo recibido del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y Comisión de Nacional de Ciencias y Tecnologías (CONACYT). Se agradece el apoyo personal del (HCIB) Herbario Centro Investigaciones Biológicas y de Laboratorio de Ecología Vegetal. Agradecerles a los compañeros de trabajo de campo y el personal de la Reserva de la Biósfera.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, Laura. 2004. Seed bank dynamics and tree-fall gaps in a northwestern Mexican Quercus-pinus forest. *Journal of Vegetation Science*. 15 (3). 661-668.
- Arriaga, L. y Ortega, A. 1988. La Sierra de La Laguna de Baja California Sur. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. La Paz, B. C. S. México.
- Arriaga, L. y A. ortega 1988. Características generales. En: La Sierra de la Laguna Baja California Sur. Arriaga y Ortega (Eds). CIB de B. C. S. México Páb. N 1: 15-22.
- Arriaga, L. 1988. Importancia ecológica de las perturbaciones exógenas en un bosque de pino-encino. En: La Sierra de la Laguna Baja California Sur. Arriaga y Ortega (Eds). CIB de B. C. S. México Páb. N 1:115-130.
- Breceda *et al.*, 2009. Evaluación de la población de cerdos asilvestrados (Sus scrofa) y su impacto en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna, Baja California Sur. México (173-188).
- CONABIO (2003). Programa de manejo Reserva de la Biosfera Sierra la Laguna. México. Pp. 209.

- CONABIO (2009). Sistema de información sobre especies invasoras en México. “<http://www.conabio.gob.mx/invasoras/index.php/Portada>.”
- Coria, R. 1988. Climatología. En: La Sierra de la Laguna Baja California Sur. Arriaga y Ortega (Eds). CIB de B. C. S. México Páb. N 1: 45-52.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial. Limusa. México. 431. pp.
- Díaz Castro, Sara Cecilia. 1995. Dinámica poblacional y análisis dendrológicos de una especie de conífera endémica, *Pinus lagunae*, M.-F. Passini de Baja California Sur. CIB. A. C.
- Gallina, S. y Mandujano, S. 2009. Investigaciones sobre ecología, conservación y manejo de los ungulados en México. Tropical Conservación Science Vol. 2 (2):128-139.
- GISP (2008). Programa de Especies Global Invasora/ www.issg.org/database.
- INE y SEMARNAP (2000). Base de datos electrónica del Sistema de Unidades de Manejo, Conservación y Aprovechamiento de la Vida Silvestre. SUMA. Reporte interno de la Dirección General de Vida Silvestre, SEMARNAT. México, D. F.
- Ignacio J. March Mifsut y Maricela Martínez Jiménez. 2007. Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad. Prioridades en México. IMTA-conabio-GECI- Aridamérica- The Natura Conservancy.
- Jorge Álvarez Romero y Rodrigo A. Medellín Legorreta. *Sus scrofa* (doméstica) Linnaeus, 1758. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto U020. México. D. F.
- León de la luz, J. L. y R. Domínguez y R. Coria. 1988. Aspectos florísticos. En: La Sierra de la Laguna Baja California.
- León de la Luz. 1999. Uso y manejo de la Flora de la Región del Cabo de Baja California Sur. México Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.1-63.
- Lowe S., Bruwne M., Boudjelas S., De Porter M. 2004. 100 de las Especies Exóticas Invasoras mas dañinas del Mundo. Publicada contribución al (GISP) Programa Mundial de Especies Invasoras.
- March, I. J. 2007. Evaluación Rápida de Especies Invasoras en la Reserva de la Biosfera Sierra La Laguna. Reporte Ejecutivo. The Nature Conservancy. 11 pp.

- Maya, 1988. Edafología. En: La Sierra de la Laguna Baja California Sur. Arriaga y Ortega (Eds). CIB de B. C. S. México Púb. N 1: 53-65.
- Mercado, Maria del carmen. 1993. Características estructurales y bancos de semilla de claros formados por la caída natural de árboles en el Bosque de pino-encino de Baja California Sur. Universidad Michoacana. México.
- Meter Folliott, Martin Fogel y Gerald Gottfried, 1992. Recursos Forestales de la Sierra de la laguna. En: Uso y Manejo de los Recursos Naturales en la Sierra de la Laguna Baja California Sur, Alfredo Ortega (Eds). CIB, A.C. B. C. S., México. Púb. No 5.111-12.
- Medellín, R. A. 2005. Vertebrados superiores exóticos en México: diversidad, distribución y efectos potenciales. Instituto de Ecología, UNAM. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto U020. México, D. F.
- Morelos, S. 1988. La vegetación: una aproximación a través de fotointerpretación. En: La Sierra de la Laguna Baja California Sur. Arriaga y Ortega (Eds). CIB de B. C. S. México Púb. N 1: 69-81.
- Padilla A. Gustavo, Pedrin A. Sergio y Díaz R. Ernesto 1988. Historia Geológica y Paleoecología. En: La Sierra de la Laguna Baja California Sur. Arriaga y Ortega (Eds). CIB de B. C. S. México Púb. N 1: 27-43.
- Phillip, D. Guertin, Meter F. Ffolliott y Martin M. Fogel.1988. Características fisiográficas e Hidrológicas. En: La Sierra de la Laguna Baja California Sur. Arriaga y Ortega (Eds). CIB de B. C. S. México Púb. N 1: 37-43.
- Sara Díaz y Laura Arriaga, 1992. Recursos Forestales de la Sierra de la laguna. En: Uso y Manejo de los Recursos Naturales en la Sierra de la Laguna Baja California Sur, Alfredo Ortega (Eds). CIB, A.C. B. C. S., México. Púb. No 5. 185-203.
- Yolanda M, Enrique T. y Federico S. 1994. Análisis de los recursos de la reserva de la biosfera Sierra de La Laguna. EN: Estrategia para la Conservación de la Sierra de la Laguna. Laura Arriaga (Eds). CIB de B. C. S. Pub. N: 6: 61-87.
- Wilcox, Jeffery T. y Dirk H. Van Vuren. 2009. Wild Pigs as Predators in Oak Woodlands of California. Journal of Mammalogy. Vol. 90. No 1. Pags.114–118.

Wiggins, I. 1980. Flora de Baja California. 1025. págs.

Zar, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. 4th. Eds. Prentice Hall.



Planeación de Recursos



SITUACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DE LA SUBCUENCA LAGUNA DE ZAPOTLÁN

J. Guadalupe Michel Parra
David Chávez Chávez
J. Alejandro Medina Magallán

INTRODUCCIÓN

El modelo de ordenamiento ecológico está compuesto por una serie de elementos que lo conforman en su conjunto: la visión de desarrollo de la región, un conjunto de Unidades de Manejo Ambiental (UGAs), políticas para cada una de éstas, lineamientos ecológicos que interpretan la política e indicadores de cumplimiento. A partir de los resultados del diagnóstico ambiental integrado y la discusión del segundo taller se llegó a una visión para construir el modelo de ordenamiento (Mencionados por SEMADES- UAQ. (2012).

Los estudios sobre el cambio del uso del suelo y cobertura vegetal proporcionan una herramienta importante que puede ser utilizada para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin *et al.*, 2001) (Mencionados por SEMADES- UAQ- (2012).

Asimismo, estos estudios nos permiten entender y analizar la relación que existe entre los procesos socioeconómicos con el desarrollo de diversas actividades que implican el uso de los recursos naturales y la manera en la que los cambios sobre estos, afectan la estructura y función de los ecosistemas (Turner y Meyer, 1991) (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

Los modelos de cambio de uso de suelo y vegetación han sido desarrollados para determinar dónde, cómo y por qué ocurren estos cambios (Brown *et al.*, 2000).

Dichos modelos toman en cuenta patrones de cambio históricos, comparándolos con los esquemas de cambio actual y extrapolando estos para predecir los cambios futuros (Lambin, 1997) (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012). Este análisis de cambio de uso de suelo conforma una parte importante del estudio del Ordenamiento Ecológico Territorial, ya que permite visualizar los impactos pasados y presentes de los distintas actividades humanas en los usos del suelo y realizar una prospección tendencial que orienta en la búsqueda de estrategias para regular dichos impactos y tener un manejo más adecuado del territorio y de sus recursos naturales (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

Se define al uso del suelo, como aquel uso del territorio que es designado por las actividades humanas e influenciado por factores económicos, culturales, políticos, históricos, ambientales, entre otros (Brown *et al.*, 2000). Sin embargo, el crecimiento de la población humana ha traído como consecuencia impactos diversos sobre el territorio, lo que se manifiesta en el uso del mismo y por ende, la pérdida de cobertura vegetal y otros recursos naturales, así como la generación de distintos conflictos entre sectores económicos (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

Uso múltiple y manejo adaptativo.

Uno de los aspectos destacados del territorio es la diversidad de usos que puede tener el suelo. La decisión sobre qué uso darle a un terreno está determinada por aspectos teóricos como el uso múltiple del suelo y el manejo adaptativo. Estos conceptos dan pie al análisis de “aptitud ambiental”, cuyo propósito es la búsqueda de las características del territorio que lo vuelven útil para cierto fin, aunque frecuentemente está determinado por consideraciones económicas, sociales o históricas (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

A continuación se presenta la definición y aplicación del uso múltiple y manejo adaptativo.

El uso múltiple es un concepto donde existe un manejo de diversos recursos de tal manera que las combinaciones del uso de estos recursos sea la óptima para las necesidades de todos los actores. El concepto, originado en el ámbito forestal, ha sufrido diversas adaptaciones e interpretaciones cuyo mayor problema ha sido una instrumentación coordinada de las diversas dimensiones del concepto (Filius 1996). El uso múltiple, instrumentado de manera apropiada, mantiene

la producción de un bien o servicio, con los beneficios deseados, y evita la degradación ambiental (Foresters, 2002) (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

El concepto es útil para identificar objetivos en las herramientas de planeación ambiental y territorial como lo es el Ordenamiento Ecológico del Territorio y en el establecimiento de criterios de manejo. Sin embargo, las premisas concernientes a estos objetivos o criterios siguen siendo críticas ya que es necesario llegar a consensos, para cada caso específico, acerca del cómo lograr el uso múltiple y cuales deben de ser los valores u objetivos de uso múltiple por unidad de área. (Boscolo, 2000) (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

Manejo adaptativo.

Los sistemas naturales y sociales son complejos y la habilidad que un planeador tiene para predecir o explicar cómo estos sistemas van a reaccionar ante una iniciativa de manejo es limitada e incierta. El manejo adaptativo es una estrategia sistemática para abordar dicha incertidumbre (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

El manejo adaptativo permite, bajo una aproximación metodológica rigurosa, el aprender de los resultados de las acciones de manejo, adecuar los cambios requeridos en el proceso y mejorar la práctica de manejo. Involucra la capacidad de síntesis del conocimiento existente, explorar acciones alternas y realizar predicciones explícitas de los posibles resultados (Nyberg 1999). Esto involucra contar con programas de monitoreo estrictos diseñados para generar retroalimentación fiable y poder explicar los resultados de una acción de manejo. También implica que las acciones y los objetivos originales se ajustan dependiendo de lo aprendido en el proceso y que la información es documentada y compartida con los involucrados por los resultados del plan (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

Así, el manejo adaptativo ve a las acciones de planeación ambiental como hipótesis: una respuesta, acción o criterio de manejo se convierte en una pregunta. Dado que estos criterios son preguntas, entonces las acciones de manejo ambiental se convierten en tratamientos desde un punto de vista experimental (Gunderson 1999) (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

Escenario Tendencial.

Para la creación del escenario tendencial se utilizó la dinámica de cambio lineal entre dos coberturas de uso de suelo y vegetación, en este caso se utilizó la cobertura actual presentada en la etapa de caracterización y una cobertura del año de 1993 creada a partir de ortofotos digitales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

El objetivo general del presente trabajo fue conocer la situación del plan de ordenamiento ecológico de la subcuenca de Zapotlán.

Este estudio es un análisis del cambio de uso del suelo y vegetación de la subcuenca de Zapotlán, realizando una prospección al año 2030 y determinar la tasa de cambio de algunos usos de suelo, así como los impactos que dichos cambios tendrán sobre la aptitud de algunos sectores económicos (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

En base al ordenamiento ecológico y al manejo de uso de suelo se presentan dos acciones que permiten regular el uso y destino de las zonas que se encuentran en la laguna de “Zapotlán el grande“ (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología.

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CNA), la “Laguna de Zapotlán“ se encuentra dentro de la Cuenca de Zapotlán (con superficie de 51,771 hectáreas), comprendiendo las porciones territoriales de los municipios de Gómez Farías (65%), Zapotlán el Grande (33%) y pequeñas porciones territoriales (2%) pertenecientes a los municipios de Sayula, Venustiano Carranza y Tuxpan. (Mencionado por Michel P. J.G. *et al.*, (2011) (Figura 1).

Esta cuenca colinda al norte y noroeste con la cuenca cerrada de la Laguna de Sayula, al noreste y sureste con la cuenca Alta del Río Tuxpan - Coahuayana (subcuenca Quito de conformidad a los balances hidráulicos de (CNA), y al suroeste con la cuenca del Río Tuxcacuesco - Armería (subcuenca denominada El Rosario conforme a los balances hidráulicos de CNA) (Figura 1).

La delimitación de la cuenca se basó en la identificación de su parteaguas en la carta topográfica E13B15 (Sayula) y la E13B25 (Ciudad Guzmán), escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1991). Dentro de la cuenca se encuentra un cuerpo natural perenne que recibe el nombre de Laguna de Zapotlán que también es conocida como Laguna de Ciudad Guzmán. (Mencionado por Michel P. J.G. *et al.*, 2011).

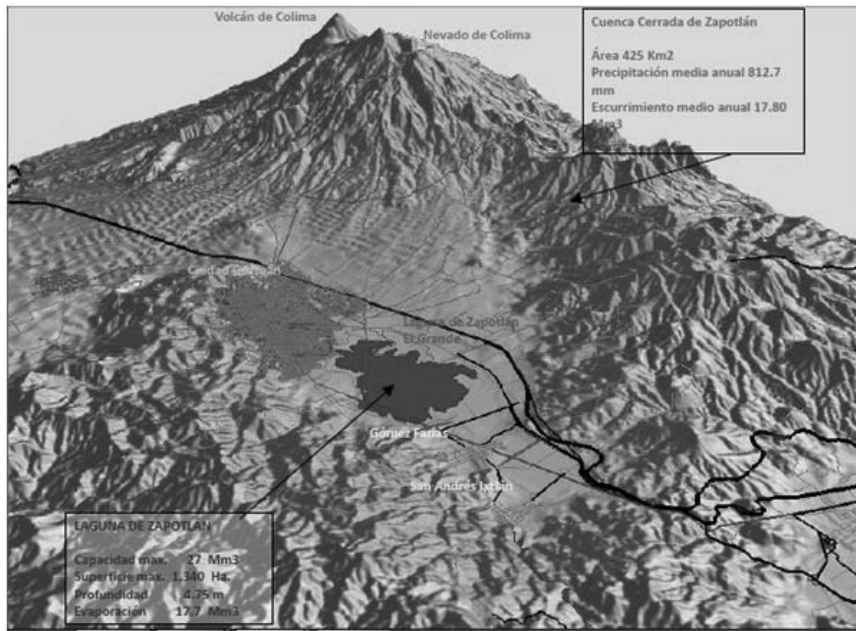


Figura 1. Cuenca laguna de Zapotlán (Mencionado por Michel P. J.G. *et al.* (2011).

El presente trabajo se inició en el año 2008 y concluye en el 2012 la cual tuvo como responsables a la Secretaria del Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable de Jalisco (SEMADES) y a la Universidad de Querétaro (UQ) (Mencionado por Michel P. J.G. *et al.*, 2011).

Se realizó un trabajo de campo el cual consistió en la determinación 51 Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) se realizó un diagnóstico prospectivo transversal descriptivo, comprende el territorio delimitado por la sub cuenca de Zapotlán que incluye principalmente los municipios de Cd. Guzmán y Gómez Farías

en Jalisco y mínimas porciones de los municipios de en el Estado de Jalisco. (Mencionado por Michel P. J.G. *et al.*, 2011).

La visión para el modelo de ordenamiento.

Se propuso la siguiente visión para el modelo de ordenamiento:

La cuenca de la Laguna de Zapotlán, es un territorio ordenado, donde se cuenta con políticas públicas y normatividad que permite la conservación del patrimonio natural, humano, social y monumental y donde la participación social se basa en una sociedad con valores morales y éticos que contribuyen a la conservación y uso racional de sus recursos naturales promoviendo una educación y cultura ambiental. La cuenca se caracteriza por la oferta de servicios turísticos de calidad, y desarrollo de ecotecnias de bajo impacto ambiental, que permiten impulsar una producción agropecuaria sustentable. Prevalece el capital de desarrollo endógeno, que se equilibra con inversiones seleccionadas de tipo exógeno, manteniendo la identidad y arraigo de sus pobladores (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

B. Unidades de Gestión Ambiental y Políticas.

Las Unidades de Gestión Ambiental se diseñaron de manera original a partir de criterios fisiográficos y de paisaje. Posteriormente se añadieron las observaciones realizadas en el segundo taller para un primer ajuste. Una vez hecho lo anterior, las UGAs nuevamente se ajustaron con respecto a criterios prácticos de manejo territorial estipulados por la SEMADES y las autoridades municipales. El resultado final, o modelo de ordenamiento ecológico se presenta en la Figura 2. (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

Se definieron un total de 51 UGAs para la cuenca. Para cada una de las unidades de Gestión se plantea una política ambiental cuyas definiciones tienen como inspiración los principios de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y lo estipulado en el Manual de Ordenamiento Ecológico de la (SEMARNAT). En principio, las políticas se retoman del Ordenamiento Ecológico del Territorio del estado de Jalisco. Posteriormente, estas políticas fueron analizadas en el segundo taller y se propusieron nuevas políticas adecuadas a la escala y realidad de la región sin contravenir las disposiciones estatales (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

a) Cartografía del uso de suelo y vegetación pasado (1993).

Para poder crear un escenario tendencial al 2030 fue necesario la elaboración de una cobertura de uso de suelo y vegetación de un periodo pasado al actual, para poder crear una cobertura que pudiera compararse con la actual, elaborada en la fase de caracterización era necesario utilizar imágenes con una resolución similar a las utilizadas en dicha cobertura, por lo que se decidió utilizar ortofotos digitales de (INEGI) del año de 1993, con las cuales mediante su interpretación visual a escala 1:20,000 se creó la cobertura de uso de suelo y vegetación de dicho año (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

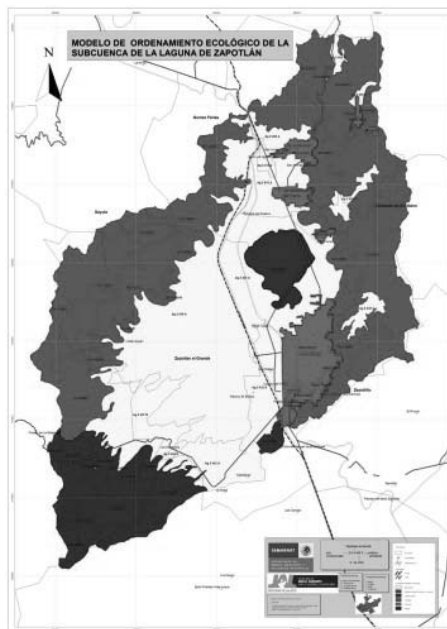


Figura 2. Modelo de Ordenamiento Ecológico para la cuenca de la Laguna de Zapotlán Jalisco (Mencionados por SEMADES- UAQ., 2012).

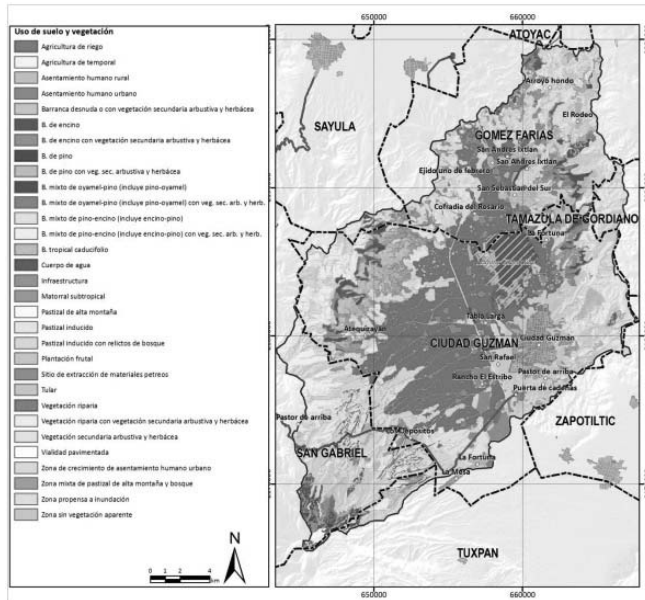


Figura 3. Cartografía de uso de suelo y vegetación de 1993, de la subcuenca de Zapotlán, Jalisco (Mencionados por SEMADES- UAQ., 2012).

b) Cartografía del uso de suelo y vegetación actual (2005).

Una vez obtenida la cobertura de uso de suelo y vegetación del año de 1993, se compara con la cobertura de uso de suelo y vegetación actual (Figura 4), mediante el módulo —*change time series-markov*— del software idrisi andes, el cual genera una matriz de probabilidad de cambio entre las 31 categorías de uso de suelo o tipos de vegetación presentes en el área de estudio, la cual permite identificar aquellos cambios que tienen una mayor probabilidad de ocurrir, basándose en la dinámica de cambio que ha existido entre las coberturas de 1993 y 2005 (Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

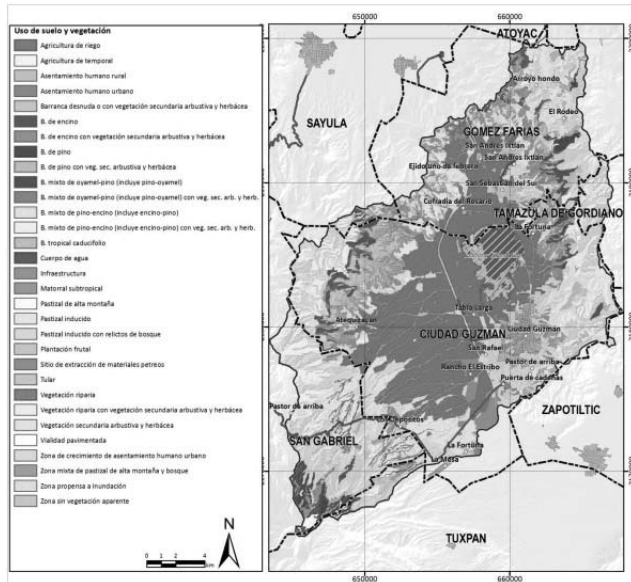


Figura 4. Cartografía de uso de suelo y vegetación de 2005, de la subcuenca de Zapotlán, Jalisco (Mencionados por SEMADES- UAQ. (2012).

c) Creación del escenario tendencial (futuro).

Para generar el escenario tendencial a partir de la dinámica de cambio del uso del suelo entre las coberturas de 1993 y el 2005 nuevamente se utilizó el algoritmo CA_Markov, incluido en el módulo change time series del software (antes señalado). El algoritmo utiliza cadenas de Markov que permiten calcular la probabilidad de cambio de una clase a otra con base en la matriz de cambios de un cierto lapso. La idea subyacente es que los cambios observados en un periodo de tiempo tienen tendencia a repetirse en un periodo posterior (Paegelow *et al.*, 2003). Se genera una matriz de transición que toma en cuenta la matriz de un momento inicial (el uso del suelo y vegetación 1993) y la de uno siguiente (el uso del suelo y vegetación del 2005) (Mencionados por SEMADES -UAQ, 2012).

La matriz de transición permite el cálculo de cuáles serán las superficies de cada clase de usos del suelo en el año 2030 si las tendencias lineales del periodo 1993-2005 prosiguieran.

El programa utiliza también un subprograma de decisiones multicriterio y multiobjetivos. Con técnicas multicriterios se definen las áreas más aptas para cada clase de uso del suelo.

Es la técnica que se empleó para la elaboración de los mapas sectoriales de aptitud del suelo en la fase de diagnóstico, pero ahora enfocada a las clases de uso del suelo. Con la técnica multiobjetivo se asignan las mejores áreas para ubicar o para eliminar superficie de las clases que se calcularon con las cadenas de Markov. Finalmente el programa utiliza un modelo de autómatas celulares que a partir de una celda evalúa su entorno inmediato e incrementa los valores de aptitud de una clase si alrededor existen otras celdas con el mismo tipo de uso del suelo (Mencionados por SEMADES -UAQ, 2012).

Resumiendo el programa con base en el pasado prevé las cantidades de superficies que cambiarán y con base en la vocación del suelo y el entorno inmediato de cada celda las ubica, creando un mapa a futuro. El sistema efectúa cálculos matriciales complejos y por lo tanto el número de clases utilizadas y el nivel de resolución del análisis (tamaño de cada celda) tiene que ser calculado para no saturar el procesador de la computadora (Mencionados por SEMADES -UAQ, 2012).

En la Figura 5 se puede observar el escenario tendencial a 30 años creado a partir de la dinámica y probabilidad de cambio entre las coberturas de uso de suelo y vegetación de los años 1993 y 2005. En la figura se puede observar un importante crecimiento de la mancha urbana principalmente en zonas donde ya se presentaban asentamientos, aunque estos se distribuían de manera dispersa (en el escenario se muestran como zonas más densificadas), las zonas agrícolas disminuyen y la tendencia de deforestación de las zonas forestales continúa (Mencionados por SEMADES -UAQ, 2012).

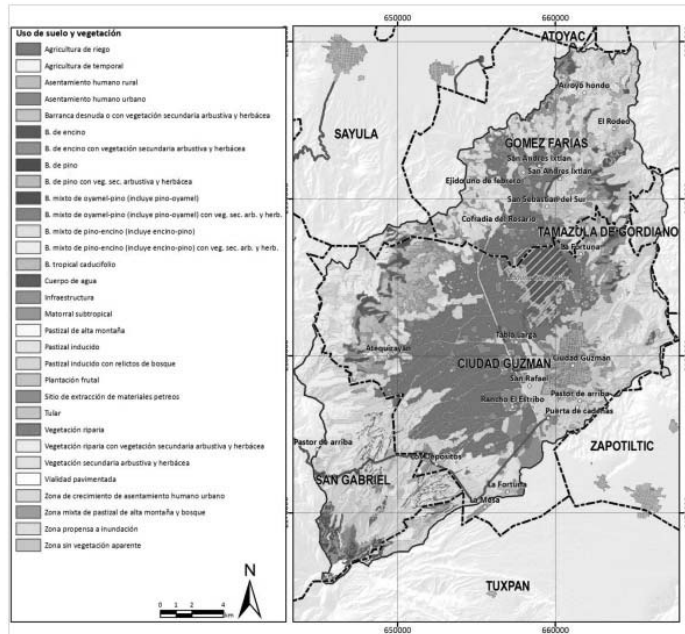


Figura 5. Cartografía de uso de suelo y vegetación del 2030 para la subcuenca de Zapotlán, Jalisco. (Mencionados por SEMADES -UAQ, 2012). Cambio de uso de suelo y vegetación de la subcuenca de Zapotlan (2005-2030).

En la Figura 6 se presentan los porcentajes de cambio en cada categoría de uso de suelo y vegetación para el área de estudio de acuerdo a la cartografía de 1993, 2005 y 2030. (Mencionados por SEMADES -UAQ, 2012).

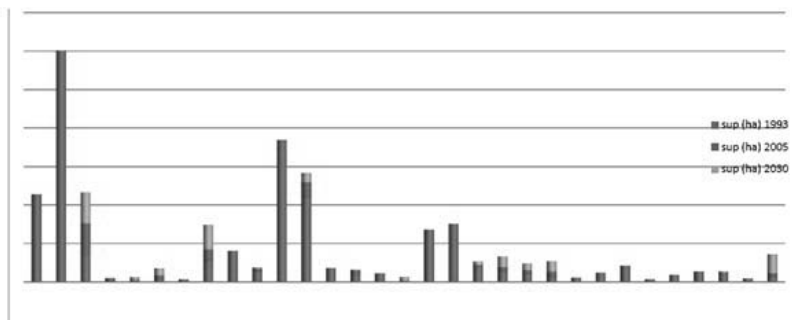


Figura 6. Superficie de cada categoría de uso de suelo y vegetación para 1993, 2005 y 2030

(Mencionados por SEMADES -UAQ- 2012).

La utilización del cambio de usos de suelo permitirá la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, protección de la flora y fauna silvestre, así como de las actividades de recreación y esparcimiento para las personas de la sub cuenca laguna de Zapotlán.

Al no permitir el desarrollo y sobrepoblación de las personas en zonas aledañas a la laguna, que provocarían acciones de contaminación ambiental y desequilibrio ecológico en dicha zona; de igual forma aprovechar los recursos naturales que se encuentran y las actividades productivas como la pesca, las artesanías con el aprovechamiento del tule, acuacultura entre otras, que fortalezcan el conocimiento y cultura de un desarrollo sustentable.

Por eso es importante:

I.- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar; (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).

II.- Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación; (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).

III.- La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente; (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).

IV.- La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas; (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).

V.- El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas; (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).

VI.- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo; (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).

VII.- *Garantizar la participación corresponsable de las personas, en forma individual o colectiva, en la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente; (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).*

VIII.- *El ejercicio de las atribuciones que en materia ambiental corresponde a la Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX- G de la Constitución; (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).*

IX.- *El establecimiento de los mecanismos de coordinación, inducción y concertación entre autoridades, entre éstas y los sectores social y privado, así como con personas y grupos sociales, en materia ambiental, y (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).*

X.- *El establecimiento de medidas de control y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y de las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones administrativas y penales que correspondan. (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).*

CONCLUSIONES

Por lo tanto es importante llevar a cabo como elemento principal, un estudio de evaluación de impacto ambiental que se define como el documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

BIBLIOGRAFÍA

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Título Primero, Art.3 fracción XXIII.

Michel P J.G. *et al.*, (2009). Programa de Protección, Conservación, Manejo y Aprovechamiento de la “Laguna de Zapotlán”. CONANP. México. D.F. 432 pp.

Michel P. J.G. *et al.*, (2011). Lago-laguna de Zapotlán-sitio Ramsar – Humedal de Importancia Internacional- Sitio Ramsar. Ed 2º. Ed. Universidad de

Guadalajara. 200 pp.

SEMADES -UAQ., (2012). Fases III y IV del Programa de Ordenamiento Ecológico de la Subcuenca de la Laguna de Zapotlán, Jalisco Documento para la Consulta Pública. Ciudad Guzmán, Jalisco.

DIAGNÓSTICO SOCIO-ECONÓMICO Y AMBIENTAL EN LA ISLA ROQUETA, ACAPULCO, GUERRERO, MÉXICO

Náu Silverio Niño Gutiérrez

Jean Francois Parrot

Javier Delgadillo Macías

INTRODUCCIÓN

Justificación. La naturaleza pródiga con el estado de Guerrero, dotó en lo particular al municipio de Acapulco con numerosos y diversos recursos biológicos y físicos, que a nivel nacional confieren a dicho enclave una de las mayores riquezas en cuanto a variedad ecosistémica, climática, hídrica, suelos y paisajes naturales. Sin embargo, a Guerrero también lo agobian índices de extrema pobreza y rezago social reflejados en altas tasas de deforestación, alarmante pérdida de biodiversidad, procesos erosivos y deterioro paisajístico.

Importancia. En La Roqueta, a la fecha existe poca claridad en cuanto a la categoría de manejo óptima para la protección y conservación del paisaje marino y terrestre en la isla más importante del estado de Guerrero. Aunado a que la capacidad de carga se observa rebasada por la afluencia poco planeada del turismo nacional y extranjero de sol y playa que arriba al enclave insular y que de incrementarse podría alterar el frágil equilibrio ecológico que aún existe sobretodo en laderas y cerros de dicho enclave geográfico.

Antecedentes. Esta isla, al igual que otras de la región Pacífico-Sur de México, enfrenta múltiples impactos ambientales, paradójicamente surgidos e incrementados a partir de 1981, año en que La Roqueta fue declarada “Parque Nacional Marino” (Diario Oficial, Noviembre 6 de 1981). Desde el punto de vista documental se remontan comentarios del trabajo de Otero y Radilla (2001), sobre la importancia ecológica de la vegetación de selva baja caducifolia aún existente en la porción continental de la isla. La parte marítima circunvecina a la isla fue estudiada por Palacios (2002), quien manifiesta la abundancia y diversidad de peces existentes en los arrecifes rocosos en la interfase mar-tierra de La Roqueta, en tanto que Niño (2009), propuso el manejo turístico-ambiental de dicho enclave geográfico y Niño (2010), expuso las potencialidades de las

condiciones geocológicas para actividades de bajo impacto ambiental que contribuyan al desarrollo sustentable y la planeación territorial en la región económica de Acapulco, Guerrero.

Objetivo general. Consiste en exponer los elementos físicos, geográficos, bióticos y antrópicos, los cuales ofrecen importantes ventajas competitivas en relación a otras islas del estado de Guerrero.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en tres fases: la primera comprendió la recopilación, lectura y análisis del acervo publicado de manera impresa como la carta topográfica de Acapulco E14C57 de 2005 en escala 1:50 000 del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); las aerofotografías del INEGI (2007) y la carta edafológica de Acapulco de SPP (1981), y material digital como la ortofoto de la bahía de Acapulco (INEGI, 2000), las ortofotos comprendidas en los discos A25111-A25115, en escala 1:20 000 del INEGI (2009). Además de trabajo de campo que consistió en diez recorridos exploratorios entre enero y septiembre de 2010 y observación *in situ*.

La segunda fase fue la elaboración cartográfica que tuvo las siguientes finalidades: 1) ofrecer un panorama físico-geográfico general del área en estudio, con base en la cartografía temática, para ello se el software libre denominado DEMONIO o *Digital Elevation Model Obtained by Numerical Interpolation Operations* de la autoría del Dr. Jean Francois Parrot (2010), en cuyo programa `reduc_mnt.exe` se cambió el tamaño del píxel a fin de ofrecer mayor detalle en la información georreferenciada ya que se trabajó con curvas de nivel a cada cinco y diez metros y 2) se realizaron los mapas y MDE de localización geográfica e hipsometría que muestra los diversos pisos altimétricos de la isla; los mapas: de pendientes; aspecto; concavidad; fractal; suelo desnudo y densidad de vegetación.

Las pendientes van de 1 a 59°, donde se definió la curva de nivel a cero msnm para mostrar como se erige el MDE local desde la interfase mar-tierra; aspecto que comprende la orientación de las pendientes donde se muestran dos gráficos con la dirección de la pendiente y su frecuencia.

La concavidad y convexidad que muestra la acumulación o no de los sedimentos

provenientes de las altitudes superiores que fueron trabajados en una ventana de tamaño 7x7 y se presentan los resultados en porcentaje y corresponden a las características horizontales del terreno.

La dimensión fractal local se trabajó en el software FROG o *Fractal Reserches On Geosciences* del Dr. Parrot (2010), en una ventana de tamaño 24 que resalta las características morfológicas de La Roqueta, es decir sin vegetación y las líneas divisorias de aguas.

Se realizaron los respectivos análisis espaciales de cada uno de los mapas procesados: localización geográfica, hipsometría, pendientes, aspecto, erosión y vegetación para la elaboración de los mapas finales con base en la geoinformación analizada y sustentar el diagnóstico geoecológico insular, este último tuvo apego al método de Melo y Niño (2003), para el estudio, caracterización, manejo y desarrollo de áreas naturales protegidas.

La tercera fase implicó el procesamiento de información socioeconómica que contempló el total de la población residente en la isla, los turistas que la visitan, a fin de determinar el origen y motivo de interés en las playas La Fantasía, Palao, Palmitas y La Marina donde fue necesario levantar y verificar datos como son los sitios favoritos del turismo de sol y playa y áreas en que practica recreación activa intensiva. Las técnicas que respaldaron esta fase fue la observación participante (Babbie, 2000).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Geográficamente, la reserva se localiza al extremo suroeste de la bahía de santa Lucía en Acapulco, posición limítrofe con las estribaciones meridionales de la Planicie Costera del Pacífico Mexicano. A nivel local se circunscribe a las coordenadas extremas en la Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), 1 860 000 a 1 861 000 de latitud norte y 402 000 a 404 000 de longitud oeste de Greenwich. Ostenta una dimensión lineal este-oeste de 1 700 m, amplitud norte-sur de 730 m y altura de 110 m, abarca 77 ha (Figura 1).

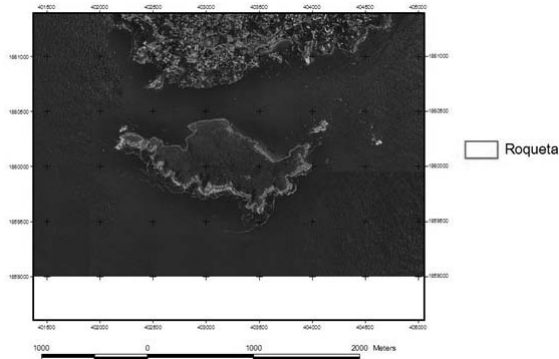


Figura 1. Localización geográfica.

Uno de los elementos socio-económicos insulares que se traducen en ventajas incluso ambientales, es que la isla establece comunicación marina con la región económica de Acapulco, a través del canal Boca Chica que localmente interconecta a las playas de Caleta y Caletilla en el denominado Acapulco tradicional.

La Roqueta está conformada por las zonas: montañosa (Figura 2), de pie de monte y de planicie aluvial, lo cual se relaciona fuertemente con el factor pendiente de tal manera que la zona montañosa comprende todo el aprovechamiento insular a partir de la cota ubicada en dos metros pero inferior a los 110 msnm. Sus componentes físicos le confieren relieve con gama variable de pendientes moderadas y fuertes con clima cálido subhúmedo.

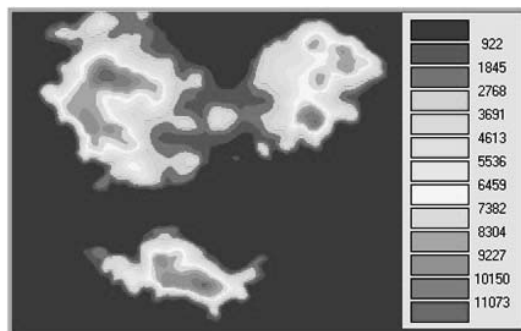


Figura 2. Hipsometría en dm.

El relieve montañoso, exhibe pendientes fuertes, el área restante correspondiente

a paisajes de laderas está dominada por pendientes moderadas (Figura 3).

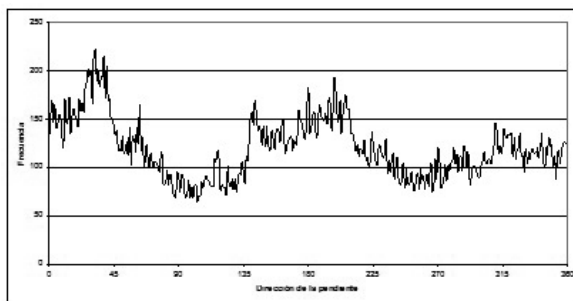


Figura 3. Aspecto a nivel regional (tamaño del píxel 10 m).

Los rangos de inclinación llana, débil y moderada concurren en paisajes del piedemonte. La pendiente es un factor limitante para los asentamientos humanos y, por otro lado, favorece los procesos erosivos y pérdida del suelo. La zona de piedemonte comprende gran faja transicional que establece contacto con la zona montañosa y la planicie aluvial. Ostenta piso altimétrico de 5 a 100 msnm, manifiesta pendientes moderadas y fuertes.

La zona de planicie aluvial comprende terreno deprimido de los alrededores de la isla su altitud va de 1 a 2 msnm, le imprime pendiente general llana y condición climática tropical subhúmeda. De acuerdo con su carácter receptor de aguas fluviales y acumulación de material transportado.

Las pendientes menores (1 a 5°) se sitúan en el norte y centro de la isla y las pendientes mayores (54 a 59°) se ubican en el sur. Por lo que, la iluminación solar (insolación) durante el día en cualquier estación del año se presenta de manera constante en la porción sur (Figura 4).

Se presenta la erosión hídrica laminar producto de la morfología accidentada del relieve y las condiciones edáficas antes mencionadas, la ocurrencia de meteoros pluviales (lluvias) y atmosféricos (vientos), que actúan sobre los terrenos desprovistos de cubierta vegetal, intensifican la dinámica de procesos erosivos que ocasionan frecuente pérdida de suelos bajo las modalidades hídrica y eólica. Por la presencia cerril la gran mayoría de paisajes experimentan escaso grado de erosión hídrica laminar durante la época húmeda del año.

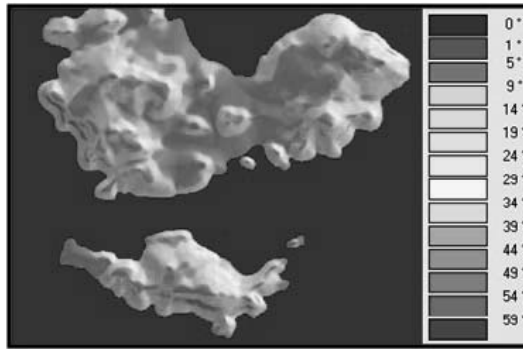


Figura 4. Pendiente a nivel regional.

Otro elemento físico-geográfico es que la porción norte cuenta con acantilados de pendientes moderadas, semiprotegida por el oleaje lo cual da como resultado la existencia de una playa conocida como “ensenada las Palmitas”, en tanto que, la porción sur de La Roqueta presenta acantilados de fuerte pendiente que se proyectan hacia el mar donde el oleaje nulifica toda presencia de playas.

Pese a la morfología accidentada del municipio, la directora de Zona Federal Marítimo Terrestre (Zofemat) de Acapulco, Guadalupe Chávez Aquino informó que en el puerto hay 1 658 concesionarios de las playas de los cuales cuatro se ubican en La Roqueta Acapulco, tiene 20 kilómetros de litoral costero de los 500 con que cuenta el estado (Rosado, 2007). Un elemento ambiental importante lo constituye la parte cerril de la isla, lo cual ejerce un enorme beneficio sobre la misma por fungir como regulador térmico y ser ideal para la vida silvestre por lo que, es necesaria su protección (Figura 5).



Figura 5. Vista Panorámica de La Roqueta. Fuente: Niño, 2008.

Como consecuencia de la erosión cerril y el constante oleaje existen cuatro playas denominadas: Palao con distancia de 11.90 m como longitud lineal norte-sur y 15.50 en dirección este-oeste; Palmitas con 31.50 m de norte a sur y 30 m de este a oeste; Fantasía con 180 m de longitud norte-sur y 85 m de este a oeste.

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw_1). Las lluvias torrenciales se presentan durante el verano entre los meses de mayo a noviembre. El promedio de días nublados es de 72 al año. La oscilación térmica es de 0.6°C entre 26.5 y 27.1°C . La temperatura media anual es de 26.5°C . Donde la presencia del mar juega un papel importante como regulador térmico local (Vidal, 2005).

En la isla existen siete arroyos cuyo recorrido es corto, pero dichos escurrimientos se ven complementados con la presencia de aguas subterráneas en forma de manantiales, que se aprovechan para abrevaderos de animales silvestres.

El suelo Litosol se expresa a través de afloramientos rocosos, ligeramente ácido, bajo contenido de materia orgánica y capacidad agrícola nula. Por lo que, su vocación natural es para vida silvestre, ya que sustenta vegetación con mínimas necesidades edáficas. Aunque también se reconocen los suelos aluviales y Regosol eútrico además de Cambisol eútrico, Phaeozem lúvico y háplico, con buena proporción de materia orgánica, aunque un poco poroso, limitada permeabilidad y escasamente drenado.

Las asociaciones de suelos son tres, en orden de mayor distribución espacial aparece la que se encuentra conformada por Phaeozem háplico-Cambisol eútrico, seguido de la asociación Regosol eútrico-Litosol y finalmente Solonchack gléyico-Regosol eútrico. Lo cual, establece la potencialidad de la zona para vida silvestre como sucede en los terrenos altos.

La Roqueta tiene amalgama de coberturas vegetales medias, altas y muy altas, producto de bajos niveles deforestativos. La vocación natural del sector cerril es de aptitud forestal; mientras que la planicie funciona como vaso colector de escurrimientos fluviales, con desarrollo de vegetación riparia y crecimiento de pastos halófilos.

La vegetación natural activa está integrada por selva baja caducifolia y subcaducifolia: cedro, matorral, palmas y bejucos. La unidad cerril ostenta el

menor nivel de alteración por lo que mantiene funcionamiento ecológico óptimo y opera como zona de alta captación pluvial, infiltración hídrica y recarga de mantos acuíferos (Figura 6).

Otros elementos bióticos útiles en la recreación activa del turismo de sol y playa queda representado por la vegetación terrestre local misma que está esquematizada en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Vegetación local.

Nombre común	Nombre científico	Vegetación Tipo	Porcentaje
		Pastizal	1.67
Zacate	<i>Aristida sp.</i>		
Zacate pelillo	<i>Bouteloua filiformis</i>		
		Secundaria arbórea	0.95
Tepescohuite	<i>Quercus conspersa</i>		
Copaljiote	<i>Pseudosmodium perniciosum</i>		
		Selva mediana subperennifolia con vegetación secundaria arbórea	0.26
Roble	<i>Tabebuia rosea</i>		
Amate	<i>Ficus sp.</i>		
		Selva baja caducifolia	0.32
Huizache	<i>Acacia farnesiana</i>		
Huamúchil	<i>Pithecellobium dulce Benth</i>		
Cazahuate	<i>Ipomoea sp.</i>	Selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva	52.91
Cacahuananche	<i>Gliricidia cepium</i>		
Mangle botoncillo	<i>Conocarpus erecta L</i>	Vegetación de manglar	0.28

Fuente: INEGI, 2004.

La vegetación natural se ha visto complementada con otras plantas que han aumentado su cobertura foliar, ejemplo de ellos se muestran en el Cuadro 2.

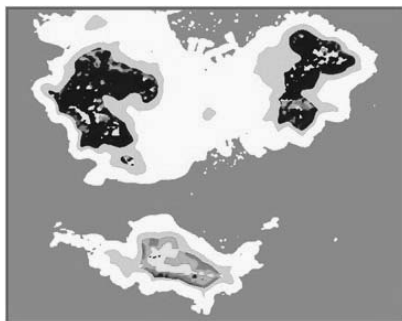


Figura 6. Densidad de vegetación.

CUADRO 2. Vegetación introducida.

Nombre común	Nombre científico
Tabachín	<i>Delonix regia Raf</i>
Laurel de la India	<i>Ficus indica L.</i>
Jacaranda	<i>Delonix regia</i>
Teresita	<i>Vinca rosea</i>
Bugambilia	<i>Bougainvillea spectabilis Willdt</i>

Fuente: Otero y Radilla, 2001.

La vegetación introducida ha permitido el crecimiento y fruto de árboles como los que se exponen en el Cuadro 3.

CUADRO 3. Árboles de frutos comestibles.

Nombre común	Nombre científico
Mango	<i>Mangífera indica L.</i>
Ciruelo criollo	<i>Spondias mombin L.</i>
Nanche	<i>Byrsonima crassifolia L.</i>
Chicozapote	<i>Manilkhara zapota L.</i>
Marañona	<i>Anacardium occidentale L.</i>
Tamarindo	<i>Tamarindus indica L.</i>
Palma de coco	<i>Cocos nucifera L.</i>
Papayas	<i>Carica papaya L.</i>
Almendro	<i>Terminalia catapa L.</i>

Fuente: Bolívar *et al.*, 2009.

La unidad contiene importante valor paisajístico otorgado por su capacidad escénica y amplitud visual gracias a la presencia de importantes núcleos selváticos, por lo cual ofrece amplias posibilidades para el fomento y desarrollo de múltiples actividades recreativas, programas educativo-ambientales e investigaciones ecológicas.

Los arroyos y ojos de agua potencian la ubicación de aves como codorniz (*Cyrtonis montezumae*), paloma de collar (*Columbia fasciata*), paloma de alas blancas (*Zenaida asiática*), carpintero (*Centurus hypopolius*), gorrión (*Carpodacus mexicanus*) y colibrí (*Phaetornis superciliosus*) y otras.

Estos árboles frutales sirven de refugio y hábitat de variada fauna silvestre sintetizada en el Cuadro 4.

CUADRO 4. Fauna terrestre.

Nombre común	Nombre científico
Iguana negra	<i>Ctenosaura pectinata</i>
Iguana verde	<i>Iguana iguana</i>
Lagartija cola de látigo	<i>Cnemidophorus tigris</i>
Armadillo	<i>Dasyopus novemcinctus</i>
Tejón	<i>Nasua narica</i>
Tlacuache	<i>Didelphys marsupiales</i>
Mapache	<i>Procyon lotor</i>
Búho real	<i>Bubo virginianus</i>
Zopilote rey	<i>Sarcoramphus papa</i>
Calandria de agua	<i>Icterus cucullatus</i> ,
Urraca hermosa cara blanca	<i>Calocitta formosa</i>
Ardilla arbórea	<i>Sciurus poliopus</i>
Codorniz	<i>Cyrtonis montezumae</i>
Paloma de collar	<i>Columba fasciata</i>
Paloma de alas blancas	<i>Zenaida asiática</i>
Carpintero	<i>Centurus hypopolius</i>
Gorrión	<i>Carpodacus mexicanus</i>
Colibrí	<i>Phaetornis superciliosus</i>

Fuente: Niño, 2010.

Algunos ejemplares de roedores se encuentran en peligro como son el conejo (*Sylvilagus floridans*), liebre (*Lepus callotis*), ardilla rojiza (*Sciurus orulatus*) y ardilla arbórea (*Sciurus poliopus*).

Existe gran diversidad de especies marinas en el área de influencia de la isla debido al elevado número de arrecifes rocosos y los peces de la plataforma continental del Pacífico central, en su mayoría pertenecen a la confluencia de fauna Panámica, de la región Californiana y Golfo de California. La isla, en particular, se encuentra en una zona de transición de las corrientes de California y la contracorriente ecuatorial del sur. La biodiversidad marina también está determinada por el ecotono particular que implica contar con acantilados rocosos donde hay elevada presencia de cuevas y grietas así como el contacto con el sustrato arenoso. Estos atributos son aprovechados para la práctica de buceo y snorkel. La población asentada permanentemente es de veinte personas entre integrantes de la Armada de México y vigilantes de los tres restaurantes que hay emplazados en La Roqueta. Donde los usos del suelo son predominantemente comercial (restaurantes), recreativo intensivo en playas y recreativo pasivo en senderos naturales y miradores ubicados en la isla.

La población flotante suma 530 personas diarias en promedio al sumar cocineros, ambientadores, meseros, meseras y turistas. El turismo es una actividad económica redituable en este municipio costero de Acapulco.

La isla es visitada por turismo nacional y extranjero que disfrutan de las cuatro playas existentes: Palao, La Fantasía, Palmitas y La Marina. Durante la travesía hacia la isla, los botes de fondo de cristal permiten a los turistas apreciar el paisaje submarino, compuesto de rocas y peces multicolores.

Los aspectos estratégicos considerados en la planeación del turismo de sol y playa en La Roqueta, pretende localmente coadyuvar al logro de beneficios socioeconómicos para los sesenta pobladores involucrados al buscar que dicha actividad sea de bajo impacto ambiental y respete las tradiciones culturales; interrelacionar el patrimonio cultural de Acapulco con el atractivo de su entorno natural, a fin de introducir el turismo sostenible al manejo eficaz de la isla y como mecanismo de desarrollo sostenible para la población local (Pérez de las Heras, 2004).

El desarrollo turístico sostenible se puede definir como un proceso que persigue, por un parte, mejorar la calidad de vida de la comunidad local, por otra ofrecer y garantizar elevada calidad en la experiencia de visita y finalmente, mantener la calidad de los recursos culturales que sustentan la actividad turística (García, 2004). La Roqueta presenta nivel alto de uso en la playa La Fantasía, el número de personas que visitan la playa al día en promedio es de 300 personas, los ritmos temporales de la estadía están determinados por los horarios de permanencia de los turistas de 12 a 15 y de 15 a 18 h, las lógicas de desplazamiento van de los restaurantes hacia las playas y viceversa. Esta información expresa las características objetivas del sistema de recreo y especifica las situaciones producidas por diferentes opciones de la administración local. Los siete concesionarios de esta Unidad de Manejo Ambiental (UMA), realizan importantes tareas de conservación y promoción como destino turístico-ecológico, a fin de incrementar sus posibilidades de sobrevivencia en el mercado o incluso ganar posiciones de mercado y situarse hoy por hoy como líderes en él, sobre la base del desarrollo de un producto que incluye espectáculo prehispánico, clavado, admiración de peces multicolores, barra libre y buffete lo que trae consigo una experiencia única concebida para responder a las demandas del turismo social nacional provenientes principalmente de la ciudad de México. (50%), Estado de México (25%), Morelos (15%), Puebla (5%), Querétaro (2%), ciudades de Guerrero (2%), Hidalgo-Michoacán (1%). En promedio son 600 visitantes al día (Niño, 2008), quienes disfrutan en el medio marino de variada avifauna (Cuadro 5).

Cuadro 5. Aves marinas.

Nombre común	Nombre científico
Pelicano café	<i>Pelicanus occidentalis</i>
Pelicano blanco	<i>Pelicanus erythrorhynchos</i>
Tijereta	<i>Fregata magnificens</i>
Gaviota de Herman	<i>Larus heermanus</i>
Golondrina de mar	<i>Sterna hirundo</i>
Tortuga golfita	<i>Dermodochelys olivacea</i>
Loro cabeza amarilla	<i>Amazona oratrix</i>
Pericos serranos	<i>Bolborhynchus lineola</i>
Quebrantahuesos	<i>Polyborus plancus</i>
Urraca hermosa cariblanca	<i>Calocitta Formosa</i>
Zopilote	<i>Coragyps atratus</i>

Fuente: Elaboración propia.

La isla de La Roqueta considerada actualmente como Unidad de Manejo Ambiental (UMA), ostenta excelente belleza paisajística en el ecosistema terrestre aunque podría verse alterado por la presencia excesiva de visitantes que a la fecha ascienden a 50 turistas nacionales y 10 extranjeros en promedio durante los días laborales pero en los fines de semana largos o de puente dicho arribo asciende a 1 500 visitantes y en las vacaciones de diciembre y veraniegas dicha total es de 2 500 personas. Por lo que, resulta impostergable planear el turismo recreativo en La Roqueta a fin de que se mantenga como un lugar predilecto de los turistas nacionales que visitan Acapulco. Los indicadores clave propuestos por la OMT para la consecución de un turismo más sostenible en las islas, como la que es objeto de estudio, se pueden ver en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Indicadores de sustentabilidad.

Indicadores	Medidas Específicas
Protección del sitio	Categoría de protección con categoría de Unidad de Manejo Ambiental (UMA).
Estrés del lugar	Número de turistas visitando la zona (40 320 año, 3360 por mes).
Intensidad de uso	Intensidad de uso en períodos punta (temporada alta 1000).
Impacto social	Relación turistas/residentes (1000/20=50).
Control del desarrollo	Carencia de procedimientos para un control del desarrollo.
Gestión de residuos	Porcentaje de residuos tratados (90%)
Grado de planificación	Carencia de planes organizados para el desarrollo turístico regional.
Ecosistemas críticos	Número de especies amenazadas (dos)
Satisfacción consumidor	Nivel de satisfacción del visitante (alto).
Satisfacción local	Nivel de satisfacción de la población (alto).

Fuente: Adaptado de Pérez, 2004.

El análisis integrado del paisaje es fundamental para la elaboración de la planeación territorial sostenible. Este diagnóstico tiene como objetivo central definir y medir la calidad de vida con base en valores objetivos y subjetivos que conlleven al desarrollo de indicadores de calidad ambiental (Córdova, 2006).

La metodología empleada permitió cumplir satisfactoriamente el objetivo

originalmente planteado mediante el enfoque del análisis integrado del paisaje a fin de caracterizar, analizar, diagnosticar y evidenciar las ventajas que actualmente ostenta la isla La Roqueta para la práctica del turismo y el cuidado del ambiente local.

Inferencias y comentarios. Pese a la constante y compleja problemática que afronta la reserva, aún es factible el rescate y salvaguarda de ciertos enclaves naturales, propósito que tiene por un lado, fundamento en la vigente y actualizada Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y su órgano administrativo representado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), adscrita a la SEMARNAT; y por el otro, en el contexto ecogeográfico que aporta el presente estudio.

El panorama descrito justifica redelimitar la isla, labor que entraña complejidad en razón de problemas derivados no sólo del notable desequilibrio entre las superficies del medio natural conservado y el degradado o transformado, así como las diversas presiones e influencias antropogénicas sobre los recursos. No obstante, bajo una óptica conservacionista que pretende el rescate de las zonas que aún mantienen vocación forestal, resulta estratégicamente obligado incluir en su entorno ciertas porciones de las restantes zonas alteradas, mismas que para fines de manejo podrán subordinarse al control y directrices que contemplen una futura planeación territorial del área.

Con fundamento en el carácter natural y los atributos escénico-paisajísticos que ostenta el espacio geográfico comprendido en el polígono y, dado que jurídicamente la reserva original carece de figura de manejo, estando por ello sujeta a obtener nueva categoría; ésta, según lo establece la ley ecológica, deberá estar acorde al uso prioritario del que es objeto. Dichos aspectos con apego a las características que definen y diferencian los ocho tipos de área naturales protegidas en nuestro país, confieren al polígono obtenido clara afinidad con la categoría de Áreas de Protección de Flora y Fauna (APFF), cuya definición entre otras cosas, menciona que son representaciones de ecosistemas importantes por su belleza escénica, existencia de flora y fauna y, valores educativos y recreativos; enfatizándose su notable aptitud para el desarrollo del turismo, o bien, por otras razones análogas de interés general (SEMARNAP, 1996).

Los resultados de la investigación manifiestan la necesidad de llevar a cabo

acciones para proteger a la isla. En tal sentido, la propuesta es recategorizarla con carácter de Área de Protección de Flora y Fauna (APFF), con base en un nuevo polígono resultante del estudio y absolutamente compatible a dicha categoría de manejo, al satisfacer los requisitos jurídicos que la tipifican, dado que La Roqueta además de su innata relevancia científica en lo ecológico, biológico, geomorfológico, hídrico y estético, también figura entre los más sobresalientes y *sui géneris* enclaves paisajísticos de nuestro país.

Bajo estas circunstancias y con apego al criterio señalado, redelimitar el nuevo polígono de la isla tiene implícito aplicar las siguientes acciones: En primera instancia, dado que amplia superficie correspondiente a la zona de aprovechamiento recreativo en el canal Boca chica y la Zona Federal Marítimo Terrestre (Zofemat) está sujeta al permanente uso turístico intensivo con clara tendencia a mantenerse y acrecentarse sobre el ámbito de selva secundaria, tal superficie se incluye como integrante del Parque Nacional en virtud de las altas expectativas para reducir dicho fenómeno antropogénico. Esta medida entraña significativo incremento territorial (alrededor de 300 ha), lo cual facilita el proceso de redelimitación y la ulterior recategorización del espacio potencialmente útil para fines de manejo planificado, en tanto que la interfase mar-tierra, puede operar considerándose área de amortiguamiento, la que bajo una adecuada normatividad contribuirá a mitigar riesgos e impactos ambientales a favor de la nueva área a delimitarse.

En la restante superficie localizada al centro-sur de la reserva, prevalece un complejo mosaico natural donde indistintamente alternan ámbitos a preservar y rescatar (zonas de vida silvestre en el faro y paisaje escénico sobresaliente en las laderas), específicos medios deteriorados (zona de regeneración natural en la cercanía de la playa La Fantasía) y la zona de aprovechamiento turístico-recreativo (zona de asentamiento humano en los restaurantes). Finalmente, los resultados del estudio ecogeográfico que sustentan la redelimitación de La Roqueta, se traducen en la propuesta de una nueva poligonal cuyo territorio conformado aproximadamente por 375 ha alberga los recursos biológicos, físicos y escénicos mejor conservados y con mayor aptitud para manejarse social y ambientalmente bajo un esquema de planificación sustentable y desarrollo regional.

CONCLUSIONES

Acorde al análisis de los elementos socio-económicos y ambientales de La Roqueta, se concluye que dicha isla ostenta atractivos escénico-paisajísticos conservados que facultarán el turismo orientado a la naturaleza *in situ*.

La Roqueta es un todavía rica en biodiversidad sin embargo, las especies faunísticas existentes son vulnerables ya que sus poblaciones son pequeñas y necesitan protegerse por que pueden extinguirse con relativa facilidad ya que los ecosistemas insulares y su biodiversidad son frágiles. Por ello, es fundamental: proteger el paisaje natural y su biodiversidad; mantener los rasgos geomorfológicos; restaurar los sitios afectados por alteraciones antropogénicas; facilitar y promover la colaboración de investigadores en temas de turismo ambientalmente planificado y restos históricos, que coadyuven al área e impulsen a La Roqueta como sitio turístico-recreativo y proveer educación, investigación y monitoreo ambiental a todos y todas.

Conservar la biodiversidad en los sistemas insulares es una forma práctica de combatir el cambio climático.

AGRADECIMIENTOS

Se hace un reconocimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México), por los auspicios económicos para el desarrollo y difusión de los resultados del Proyecto 117791 de apoyo a investigadores en consolidación convocatoria 2009. Asimismo, los autores desean agradecer el apoyo mecanográfico de Isaías Niño Castillo y el apoyo gráfico a Elías Niño Castillo.

BIBLIOGRAFÍA

- Babbie, E., 2000. *Fundamentos de la investigación social*. Ciudad de México: International Thomson Editores.
- Bolívar, N., Valencia, M. & Sauri, E., 2009. *Recursos fitogenéticos de origen tropical. Su contenido de micronutrientes*. Campeche: Universidad Autónoma de Campeche.

- Córdova, A., Rosete, F., Enríquez, G. & Fernández, B. Comps., 2006. *Ordenamiento ecológico marino. Visión temática de la regionalización*. Ciudad de México: SEMARNAT-INE.
- DGZOFEMAT (Dirección General de Zona Federal Marítimo Terrestre y Ambientes Costeros), 2004. *Manejo Integral de la Zona Costera*. [Online] Disponible en <http://www.semarnat.gob.mx/zofematac> [accesado 22 de junio de 2008].
- DOF., 1981. *Acuerdo Presidencial en el que se expone que la Isla La Roqueta quedó bajo el control directo de la Secretaría de Marina*. México: 6 de Noviembre, pp. 5-6.
- García, M., 2004. Gestión turística en centros históricos. *Geocalli*, 1(9), pp. 15-35.
- INEGI., 2000. *Ortofoto de la bahía de Acapulco y su área de influencia*, escala 1: 20 000. Ciudad de México.
- INEGI., 2004. *Cuaderno Estadístico del Municipio de Acapulco 2004*. Ciudad de México.
- INEGI., 2005. *Hoja Topográfica Acapulco E14C57*, escala: 1: 50 000. Ciudad de México.
- INEGI., 2007. *Aerofotografía de Acapulco G14-10*, escala 1: 40 000. Ciudad de México.
- INEGI., 2009. *Ortofotos digitales de la isla Roqueta Discos A25111-A25115*, 1:20 000. Ciudad de México.
- Melo, C. & Niño, N., 2003. Ordenamiento territorial y potencial ecoturístico del Ejido San Juan de las Huertas, Estado de México. *Regiones y Desarrollo Sustentable*, 1(5), pp. 195-234.
- Molina, S., 2007. *Fundamentos del nuevo turismo. De la fase industrial a la fase de innovación*. Ciudad de México: Trillas.
- Niño, N., 2008. Ambiente de la Isla Roqueta de Acapulco, Guerrero, México, *El Periplo Sustentable*, 14 (5-25) [online]. Disponible en: <http://www.uaemex.mx/plin/psus/home.html> [accesado 22 de enero de 2009].
- Niño, N., 2009. Reto en el municipio de Acapulco: El manejo turístico-ambiental de La Roqueta. En A. Rodríguez Herrera; José Luís Rosas Acevedo; Dulce Quintero Romero y Manuel Ruz Vargas (Coords.). *Los retos del*

desarrollo en Acapulco. Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional: Universidad Autónoma de Guerrero. México. Pp. 444-463.

- Niño, N., 2010. *Archivo fotográfico personal de La Roqueta*. Inédito.
- Otero, R. & Radilla, L., 2001. *Estudio ecológico de la vegetación de la isla "La Roqueta", Acapulco, Guerrero, México*. Licenciatura. Universidad Autónoma de Guerrero.
- Palacios Salgado, Davis. 2002. *Abundancia y diversidad de peces en los arrecifes rocosos de la región de Acapulco, Guerrero*. Licenciatura. Universidad Autónoma de Guerrero.
- Parrot, J. F. 2010. *DEMONIO (Digital Elevation Model Obtained by Numerical Interpolation Operations)*. Ciudad de México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Parrot, J. F. 2010. *FROG (Fractal Reserches On Geosciences)*. Ciudad de México: Instituto de Geografía, UNAM.
- Pérez de las H, M. 2004. *Manual del turismo sostenible. Cómo conseguir un turismo social, económico y ambientalmente responsable*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Rosado, X., 2007. Zofemat considera complicado que Acapulco pague menos por zona federal. *El Sur*, 15 de enero, p. 18.
- SEMARNAP., 1996. *Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Ciudad de México.
- SPP., 1981. *Carta edafológica Acapulco E14-11*, escala 1: 250 000. Ciudad de México.
- Vidal, R., 2005. *Las regiones climáticas de México*. Ciudad de México: Instituto de Geografía, UNAM.



Educación



EDUCACIÓN INTERCULTURAL INDÍGENA PARA LA PAZ

Eduardo Andrés Sandoval Forero

INTRODUCCIÓN

Sociedades con amplia diversidad cultural componen el mapa mundial en que vivimos, debido, entre otras características, a la migración internacional y a la presencia de pueblos originarios, aquellos grupos arraigados a un territorio y una cultura que siguen vigentes a pesar de la conquista, que presentan un mosaico de divergencias en el modo de hablar, vestir, comer, pensar, vivir y de habitar el mundo. Paradójicamente, con la globalización, la multiplicidad de culturas presentes en un mismo territorio geográfico se torna cada vez más evidente.

En estas circunstancias, surge la propuesta de la Interculturalidad por parte de los movimientos indígenas en la región Andina en el Sur de América, en la década de los 90 del siglo pasado, un proyecto de acción y de cambio social que, más allá de reconocer la diversidad cultural, cuestiona los patrones de poder que mantienen y siguen reproduciendo el racismo, la racionalización, la deshumanización de algunos y la súper y sobrehumanización de otros, la subalternización de seres, saberes, formas de vivir (Walsh, 2009), así como también la exclusión de las personas, y el saqueo y explotación de los recursos naturales de los territorios indígenas.

Como concepto y como práctica, los indígenas plantearon que una sociedad Intercultural es aquella que reconoce las divergencias culturales, respeta y convive con las demás culturas a partir del diálogo y el intercambio, para enriquecerse a sí misma. Un Estado Intercultural es aquél que gestiona esa diversidad, que crea las condiciones para posibilitar el diálogo y promueve mediante sus Instituciones los principios rectores de la inclusión social. Es por esto que la Interculturalidad surge como un nuevo pacto, que guía la transformación social y política, la

innovación de las estructuras de pensar, actuar, soñar, ser, estar, amar y vivir. Sin embargo, estos ejes de acción van en contra de la lógica capitalista neoliberal, porque el proyecto de la Interculturalidad cuestiona las relaciones de poder, la dominación de unos sobre otros, así como las desigualdades. Esto ha llevado a que la clase dirigente (dueños del capital y los gobiernos), la retome como una categoría o un instrumento conceptual que legitime los viejos dispositivos de subordinación, también conocido como neo indigenismo. Para frenar la trascendencia social y la exigencia de una sociedad intercultural, los organismos internacionales y los gobiernos utilizan el mismo concepto, pero reformulado, para incluirlo en su discurso de una sociedad justa, plural e incluyente. De esta manera, la Interculturalidad oficial se instaure a través de la educación intercultural, aquella que el Estado mexicano propone y ejecuta mediante la creación de Universidades Interculturales, creadas y administradas por el Estado, pero dirigidas principalmente a los indígenas, con el propósito de educar a los indios en las relaciones con la cultura mestiza.

En la misma década de los años noventa, la lucha histórica de los pueblos indígenas en México se acrecienta, y reclama el derecho a la autonomía y el ejercicio del respeto de los derechos humanos individuales y colectivos. El movimiento Zapatista, que en 1994 declaró su oposición abierta a la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte y la ejecución de políticas neoliberales, marcó un hito en la movilización indígena y social, en ese torrente de organizaciones de pueblos originarios que se declararon con derecho a tener legalmente derechos colectivos.

Exigir la autonomía y la autodeterminación se convirtió desde entonces en los ejes centrales para la defensa de los pueblos originarios de su derecho a la diferencia cultural, a su calidad de ciudadanos y a la participación social. Estos pueblos indígenas desarrollan sus propias formas de vida, de producción, cuidado de la salud, educación, y derecho propio, por lo que se resisten a la imposición de las prácticas hegemónicas que pretenden exterminar todo aquello que guía su forma de vida, su cosmovisión y su aporte al mundo.

“Quizás esta es una explicación más, que fundamenta a los nuevos movimientos indígenas con profundas bases etno-identitarias que cuestionan y rechazan el proyecto societal moderno de imposición cultural occidental, como forma de sobrevivencia cultural

en ese contexto adverso que los induce a múltiples estrategias de resistencia étnico-culturales. En estas condiciones los movimientos indígenas han enarbolado la bandera de la identidad cultural, que corresponde a momentos y condiciones históricas, como derecho que les asiste al ser pueblos diferenciados del resto de la sociedad nacional” (Sandoval, 2010: 117).

Desde esta perspectiva, los indígenas pugnan por un modelo educativo acorde a su realidad, a sus condiciones y saberes heredados. Una educación intercultural ejercida desde y para los indígenas, es aquella que, mediante la decolonización y la enseñanza fundada en la cultura de cada grupo, contribuya a la formación de sujetos interculturales para la paz, lo cual obliga a romper con el modelo occidental en la enseñanza, para dar cabida a otras formas de generar conocimiento y modos de emplearlo en la solución de problemas cotidianos. En esta tesitura, decolonizar el pensamiento significa transitar a una nueva forma de mirar y defender la cultura de los pueblos originarios, implica un quiebre con la hegemonía para revalorar la herencia cultural e histórica de nuestros pueblos en México y en América Latina.

La interculturalidad crítica, si bien emerge desde dentro y en los márgenes del desarrollo y la modernidad, confronta los cimientos del pensamiento único y la sociedad única, a partir de la decolonización del pensamiento, es decir, que pretende deconstruir la base epistemológica, política y ontológica que ha caracterizado el proyecto civilizatorio con el cual nos hemos regido desde hace más de seis siglos (Gómez, 2010). Esta vertiente constituye la base de la Interculturalidad crítica para la paz, un proyecto de acción que exige condiciones y capacidades para que los pueblos indígenas, afrodescendientes y otros grupos oprimidos, se empoderen pacíficamente en espacios, tiempos y medios para construir y ejercer su cultura, su autonomía, sus proyectos de vida.

En esta tarea, el aporte de la filosofía intercultural es de suma importancia, ya que traza los escenarios y rumbos en los que se debe transitar para el logro de una sociedad intercultural. El rompimiento con la hegemonía epistemológica, que ejerce el saber científico occidental y su aparato técnico-industrial, es necesario para consolidar una interculturalidad crítica y decolonizada, y ello es parte de lo que los sistemas educativos no oficiales se encuentran caminando.

Interculturalidad indígena.

Culturas dominadas, grupos sometidos a la dinámica global y la modernidad que los despoja de su cultura, es el escenario común que viven millones de personas en todo el mundo. Ignorar la realidad de estos grupos y su manera de habitar el mundo, forzándola a entrar en la cultura dominante, los condena a repetir los patrones de dominación de la vieja colonización, ahora con nuevos mecanismos de imposición vía Institucional. Es por esto que se plantea un rumbo Intercultural distinto, no sólo el discursivo y legitimado por el Estado, sino aquél que en la práctica genere la oportunidad de aprender a leer el mundo y nuestra propia historia, desde los distintos alfabetos que nos ofrece la diversidad de las culturas (Fornet, 2004).

La preocupación de que el Estado emplee nuevas herramientas para el control de la diversidad cultural, a través de leyes y decretos, es latente. La Interculturalidad oficial repite el patrón de dominación al establecer políticas para indígenas desde el mestizo, y no una acción de intercambio equitativo entre culturas y comunidades lingüísticas diversas (Barriga, 2004). Para que la Interculturalidad sea un verdadero rumbo de cambio social, debe gestarse en condiciones de equidad y justicia social, para que los sujetos y sus grupos cuenten con las herramientas esenciales que les permitan el acercamiento con el otro. Es imposible pensar en relaciones culturales y sociales equitativas entre culturas, allí donde existe una disparidad económica y de participación política abismal, causada por la exclusión y la marginación de los “otros”, de los no mestizos, y donde la educación intercultural es sectorial y no para todo el sistema educativo.

La interculturalidad decolonizada, implica generar las condiciones favorables en las que los sujetos tengan la posibilidad de sostener un encuentro horizontal sin subordinación ni imposición. Este entender de interculturalidad “propone el desarrollo de una práctica de la convivencia y del enriquecimiento recíproco como eje para generar tanto a nivel teórico como práctico procesos de transformación cultural en las culturas en diálogo” (Fornet, 2004: 13). Ser un sujeto intercultural significa ejercer estos principios, tener la capacidad de actuar a favor del diálogo y el intercambio cotidiano para hacer posibles relaciones sociales más equitativas. Esta es la propuesta central de la Interculturalidad alternativa, que se opone abiertamente a la concepción y puesta en marcha de las políticas interculturales oficiales del Estado.

Enfrentar estas desventajas significa replantear la apertura de espacios de participación y convivencia cotidiana, refundar el pacto social en el que todos los habitantes de un país gocen de derechos y tengan la calidad de ciudadanos, al tiempo que participen de la vida económica y social en condiciones de equidad. Las desigualdades que el actual sistema ha generado desembocan en la negación de “los otros”, de aquellos que carecen de medios para intervenir en la dinámica del orden nacional y global, generando polarización y exclusión. Es por esto que actuar desde la Interculturalidad crítica, requiere cuestionar la marginalidad y la violencia que genera el sistema actual, estableciendo nuevas relaciones basadas en la tolerancia, el reconocimiento real, el respeto y la inclusión de todos los actores sociales y culturales. Recuperar lo propio y reivindicar la importancia de los pueblos indígenas, implica asumir que la diversidad de las cosmogonías en el vivir local y comunal contiene las semillas para la interculturalidad crítica y decolonizadora del sistema capitalista moderno (Gómez, 2010). Esta interculturalidad propositiva busca intervenir en las estructuras, instituciones, relaciones y mentalidades que reproducen la desigualdad mediante la construcción de puentes de articulación y relación. Representa.

“(...) procesos dinámicos de doble o múltiple dirección, repletos de creación y de tensión y siempre en construcción; procesos enraizados en las brechas culturales reales y actuales, brechas caracterizadas por asuntos de poder y por las grandes desigualdades sociales, políticas y económicas que no nos permiten relacionarnos equitativamente, y procesos que pretenden desarrollar solidaridades y responsabilidades compartidas. Este es el reto más grande de la interculturalidad: no ocultar las desigualdades, contradicciones y conflictos de la sociedad” (Walsh, 2009: 47).

Incorporar esta visión de transformar las condiciones sociales permea el modo de conducir las relaciones y el mismo quehacer social, es por esto que la propuesta del “Buen Vivir” (Sumak Kawsay), surgida de los pueblos andinos de Bolivia y Ecuador, establece mecanismos de convivencia emanados de la necesidad de construir un nuevo contrato social, en el que se enfrenten y resuelvan las deficiencias y contradicciones de la visión económica y política del “progreso” del capitalismo. Significa retomar los valores fundamentales de la convivencia armónica entre los seres humanos y la madre tierra, generar condiciones óptimas para la vida, sustituir el consumismo y la primacía mercantil por un

intercambio equilibrado, y la armonía con el entorno social y medioambiental. La reivindicación de los pueblos originarios y los grupos minoritarios es un proyecto social que se construye desde la cosmogonía indígena, la cual coloca como prioritario el beneficio de la colectividad por encima del interés individual. La diversidad cultural y la lucha por los derechos culturales de los pueblos son signo de nuestro tiempo, y es por esto que nos enfrentamos a una realidad en la que se requiere transformar la multiculturalidad en interculturalidad, para que por esa vía los seres humanos se puedan reconocer y desarrollar como sujetos de procesos de universalización (Fornet, 2006). Para la interculturalidad, la diversidad cultural es exigencia de diálogo y de apertura, exigencia de acogida y de compartir lo “propio” con “el otro” para redimensionarlo en común. Superar la hegemonía cultural, política, económica, militar y religiosa que contradiga el principio de convivencia y diálogo humanizador, tanto individual como de comunidad, es el principio rector para el tránsito a la otra Interculturalidad, a aquella que los pueblos originarios establecen como una forma de convivencia con la naturaleza y con los no indígenas. Desde esta perspectiva, el aspecto vivencial de la interculturalidad, es de suma importancia para reconocer que nosotros mismos como personas estamos involucrados en la construcción del espacio intercultural, somos fomentadores de lo intercultural (Fornet, 2004).

En México, los indígenas zapatistas, que han resistido por varios años el sometimiento a la occidentalización, ejercen un modelo educativo alejado del sistema formal, en el que el lenguaje natal y los saberes heredados son elementos fundamentales; cultivan la decolonización, porque su cosmovisión y el legado histórico de sus ancestros rige la producción y transmisión de los conocimientos, no como un complemento a lo mestizo, sino como protagonista del entender universal del entorno y la realidad. Este diálogo de saberes inscribe a unos y otros en un nivel equitativo de importancia, educando en un proceso dialógico en el que sus actores construyen la matriz de resistencia y construcción intelectual de un nuevo concepto de participación. La reivindicación de los pueblos originarios, ejercida desde la educación decolonizada, parte de la importancia que tiene cada grupo y cada comunidad en el entramado social, es por eso que se constituye en una propuesta de cambio fundamental.

De acuerdo con el trabajo de investigación de Bruno Baronet (2009), acerca de la autonomía y educación indígena, los pueblos indígenas se han mostrado capaces de apropiarse políticamente del espacio educativo formal, tratando de intervenir

directamente en la gestión administrativa y pedagógica en sus territorios. Afirma que

“(...) la reivindicación de los pueblos indígenas de tener en sus manos el control de la gestión de las escuelas en sus territorios comprueba el carácter político de la cuestión educativa local... Lo que está en juego parece ser el poder de creación, ejecución y evaluación, no solamente de los planes y programas alternativos, sino también de la gestión de la organización escolar en su conjunto” (Baronnet, 2009: 23)

En esta concepción de educación intercultural, es ineludible la participación de los indígenas en la planeación, diseño y ejecución de la misma, cuyo empoderamiento pacífico se construye en el pensar y en el hacer cotidianos de la justicia, de la libertad y la democracia en los ámbitos educativo y comunitario.

Educación Intercultural Zapatista.

Ante la persistencia del proyecto intercultural estatal, surge la otra Interculturalidad, aquella que cuestiona y critica la postura oficial y el control Institucional, para acallar la demanda autonómica de los pueblos indígenas. Interculturalidad indígena que se propone ser crítica frente al pensamiento occidental y al poder; ser decolonizadora del pensamiento y de las miradas dominantes; ser de reconstrucción cultural; de empoderamiento pacífico y activo; y de realización educativa dentro de las construcciones autonómicas y de autodeterminación indígenas.

La propuesta de la Interculturalidad indígena fue, desde sus inicios, una alternativa para enfrentar la realidad que el multiculturalismo describía, con el objetivo de transitar a los hechos concretos para promover la convivencia pacífica en las sociedades cada vez más diversas. Sin embargo, representaba pérdida de poder para la hegemonía cultural, política y económica porque la entrada de nuevos actores en el quehacer social rompe con la dominación y subordinación.

La lucha indígena encabezada por el Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN), exige derechos autonómicos en los que la educación tiene un papel central. En los acuerdos de San Andrés, firmados con el Estado mexicano en 1996, quedan plasmadas las demandas indígenas, y destaca el derecho a una educación correspondiente a su contexto y necesidades, con la participación

directa de los pueblos indígenas. Sin embargo, frente al no cumplimiento de los acuerdos por parte del gobierno, y por la decisión unilateral del ejecutivo de abrir 10 universidades interculturales, modeladas y dirigidas por la SEP, los indígenas zapatistas asumen un modelo educativo alejado del sistema formal, que se caracteriza por la castellanización y la transmisión de conocimientos sobre ciencia y técnica occidental. A pesar de la obligación que el Estado contrae con la firma de diversos acuerdos e iniciativas de ley, para asegurar a los indígenas una educación que respete y aproveche sus saberes, tradiciones y formas de organización, es un hecho que continúa instrumentando una educación para indígenas desde una concepción unilateral y unicultural.

Romper con la matriz colonial arraigada en los pueblos indígenas en México y América Latina, exige trabajar *con* e intervenir *en* ellos para cambiar los dispositivos socioculturales que mantienen relaciones de dominación y subordinación a la cultura dominante. La Interculturalidad que los indígenas practican, en contextos autonómicos, tiene rostro de transformación social con y para los indígenas y campesinos, porque parte del respeto y el reconocimiento del otro para crear lazos de reciprocidad y convivencia armónica.

En el ejercicio de una educación autonómica es fundamental la participación de todos los actores; los pueblos indígenas son los protagonistas de la educación Intercultural decolonizada, el componente lingüístico es esencial para entender sus necesidades, saberes y particularidades culturales, ello explica la persistencia de una Educación Intercultural Bilingüe (EIB) en la que las dos lenguas tienen igualdad de condiciones. Basada en estos principios, la educación intercultural zapatista, que gira en torno a la autodeterminación, implica el desarrollo de capacidades de control colectivo y de autogestión en un marco municipal alternativo que el Estado no reconoce, desde el modo en que ésta se lleva a cabo, los métodos que emplea, los contenidos pedagógicos y los materiales didácticos que utiliza para educar y formar a los niños y jóvenes indígenas. El ejercicio pleno de la interculturalidad educativa, contempla intervenir en la determinación de programas pedagógicos que tendrían que retomar las necesidades específicas, los elementos y valores culturales propios, en un contexto de “verdadera interculturalidad” (Regino, 2004 citado por Baronnet, 2009).

Educar en el respeto al otro, el amor a la madre tierra, a la naturaleza y el cosmos, son ejes rectores de la educación indígena. A partir de sus propias reglas

y recursos, las familias que conforman las bases de apoyo del Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN), definen los contornos y los contenidos de las políticas locales de escolarización *sui generis* que no responden a los dictados por la Secretaría de Educación Pública (SEP) (Baronnet, 2009). El conocimiento que se genera y se comparte en los centros educativos zapatistas es aquél que proviene de la herencia y los saberes milenarios que la misma cultura ha desarrollado a través de los años, se enseña a los niños y jóvenes a respetar y amar a sus semejantes y todo aquello que les rodea.

Baronnet (2009) señala que la educación intercultural zapatista contempla la enseñanza del español y el idioma indígena como lengua materna, pero una no se antepone a la otra, por el contrario, se manejan como complementarias y necesarias para la convivencia con lo mestizo. Y añade que en la transmisión de conocimiento.

“(...) se recurre a nociones muchas veces ligadas al cultivo de la milpa (machete, semilla, ejido, etc.), a la crianza de animales (vacas, cerdos, pollos, guajolotes, etc.), a la memoria colectiva del peonaje y a la lucha contemporánea por la tierra. Se elaboran mapas de los territorios selváticos y se consultan cartografías y fotos de México y del mundo cuando el material pedagógico está disponible... Contextos históricos y otros datos sobre los líderes independentistas y los principales revolucionarios mexicanos del siglo XX cuyos nombres, muchas veces, forman parte de la cotidianidad de los niños (nombres de comunidades, municipios, escuelas, etc.)” (Baronnet, 2009: 203).

La enseñanza indígena rompe con el modelo de transmisión de conocimiento oficial, que se basa en un esquema vertical y pasivo donde los maestros enseñan y los alumnos aprenden recibiendo datos, fechas, referencias e información que poco logran relacionar con su realidad inmediata, porque se trata de contenidos elaborados desde lo mestizo occidental. Mientras que el mundo globalizado exige la formación de profesionistas capaces de competir en el mercado de trabajo mundial al servicio de la acumulación y la expansión del capital, la orientación de la educación autonómica se dirige a la formación de jóvenes y profesionistas que sirvan y trabajen por el beneficio de las comunidades, de acuerdo a su realidad, necesidades y potenciales.

Ambos modelos educativos divergen por los objetivos que persiguen, mientras la educación instrumentada por las Instituciones estatales que conocemos actualmente se encamina a la homogeneidad y competitividad, el proyecto escolar intercultural zapatista se construye mediante el control comunitario y municipal, de esta forma se asegura el ejercicio de la autonomía en sus diversas dimensiones. El modo en que se establece la educación intercultural zapatista tiene sus bases en el sistema de organización política y social de las Juntas de Buen Gobierno que se rigen por el principio de mandar obedeciendo. Los representantes de las comunidades son figuras en las que recae la responsabilidad de dirigir al pueblo, pero este último es quien realmente detenta el poder, puesto que de incumplir con la tarea, los representantes son destituidos por acuerdo general. La asamblea del pueblo, máxima instancia de deliberación y decisión comunal encargada de ejecutar acciones comunes en beneficio de todos, es también la autorizada de poner en marcha la educación de y para los niños y jóvenes de sus comunidades. La figura del promotor educativo en las escuelas zapatistas rompe con el estereotipo de maestro que conocemos del modelo institucional, aquel o aquella normalista que domina conocimientos de un área específica del saber y que cuenta con las herramientas para transmitirlos. La relación con los alumnos es de subordinación, donde los alumnos están sujetos a los mandatos de las autoridades escolares, así como a los programas y métodos didácticos que el sistema establece. En la educación intercultural zapatista, los promotores educativos son los guías que se encargan de instruir a los niños(as) y jóvenes, en una relación horizontal donde se aprovechan los conocimientos y experiencia del promotor para compartir e intercambiar inquietudes, dudas y se encamina a los aprendices para que se acerquen al conocimiento heredado y se construyan, desde la comunidad, nuevas formas de aprovechar los recursos, otras formas de cultivar la tierra, una nueva forma de convivir con los demás a partir del acercamiento con su propia historia y la realidad de su presente.

Los promotores son los mismos miembros de la comunidad, personas que son elegidas en Asamblea para aportar sus conocimientos a los menores. Para alcanzar los resultados esperados, se les capacita y dota de herramientas indispensables de acuerdo a la exigencia del nivel de enseñanza, la educación básica como leer y escribir son las más atendidas para que a partir de allí los adolescentes y jóvenes se interesen y organicen como autodidactas y contribuyan con la instrucción de los más pequeños. Inmersos en la dinámica global, la educación intercultural indígena se interesa en transmitir la conciencia del cambio social para lograr el

acercamiento con otras culturas, de romper con las jerarquías y la superioridad que impiden el diálogo intercultural.

La educación indígena no niega la presencia ni la importancia de la cultura mestiza, porque instruye a los niños y jóvenes en el respeto a la presencia, la relación y el aporte de lo no indígena. Educar en español, como segunda lengua, es muestra de ello, además de que incorpora las herramientas tecnológicas occidentales para redimensionar distancias y modos de interacción con personas que se encuentran en otros lugares del mundo. Las dinámicas de flujo de información intervienen en la formación de los niños, puesto que el movimiento indígena de hoy está inmerso en procesos transnacionales de intercambio informativo mediante herramientas como Internet, cuya utilización resulta compleja no sólo en lo tecnológico, sino también en lo contextual y en la profundidad de los contenidos y las relaciones establecidos.

La educación de los indígenas es incluyente, pero parte de la reivindicación de lo propio como plataforma de reconocimiento y medio de interacción con los otros. La cosmogonía indígena está presente en todo el proceso educativo zapatista, esto explica que los horarios y calendarios escolares estén adaptados a los ritmos de la vida campesina e indígena en el que se enfatizan los ciclos climáticos y agrícolas, las lógicas de reproducción indígena. La educación entonces, más que una camisa de fuerza, es una herramienta en la que se construyen las bases para dar continuidad y vigencia al quehacer indígena, a la cultura, a su modo de vida, de ubicarse en el mundo y habitar en él. Al involucrar a las comunidades indígenas en el diseño y manejo de sus propios centros educativos en todos los niveles, mediante las Asambleas comunitarias y los mecanismos de elección de promotores y representantes educativos, se refuerzan los lazos comunales, la idea de beneficio común y se revitaliza la importancia de una educación intercultural desde los mismos pueblos. La ejecución de este modelo educativo que surge en la lucha indígena trasciende la manera en que se pone en marcha, es así que

“los sistemas municipales de escuelas autónomas son legitimados en los discursos de las familias militantes por la necesidad de beneficiarse de una “educación verdadera” que responda a sus demandas y problemas cotidianos, en términos de aprendizaje de contenidos colectivamente valorizados, verificables de manera pragmática por los padres y abuelos” (Baronnet, 2009: 11).

Mediante las disposiciones de la comunidad, se eligen representantes que se encargan de vigilar el cumplimiento del mandato pedagógico encomendado al promotor, esta figura influye colectiva y ampliamente en la gestión escolar. La cercanía de los promotores, los representantes educativos, los padres de familia y las mismas familias son indispensables para garantizar que los menores reciban una instrucción acorde a la forma de vivir, de organizar y trascender el entorno indígena mediante el diálogo con lo mestizo. Ello por supuesto no niega las obvias contradicciones que se presentan en toda agrupación humana, pero que para el caso suelen ser atendidas de manera colectiva, a través del diálogo y los acuerdos consensuados por los involucrados en este proceso educativo.

El empoderamiento de los alumnos y de la comunidad, al interculturalizar los programas y planes de estudio, es la principal herramienta de la que disponen estas comunidades para transformar el poder de decidir sobre el quehacer educativo y por ende, en el futuro y porvenir de los pueblos originarios.

Visto como un movimiento de transformación social y resistencia abierta a la hegemonía de la política educativa centralizada, la educación intercultural crítica y decolonizada zapatista, tiene implicaciones sociales en la lucha por la democratización de la gestión administrativa y pedagógica. Transformar la organización escolar es una herramienta de resistencia étnica, de decolonización y de liberación social, que trazan el rumbo de la lucha indígena en la misma convivialidad y de participación directa de la comunidad e involucrados en el proceso educativo.

Instaurar este modelo educativo desde la comunalidad y la recuperación de lo colectivo, expone una complementariedad e integralidad para construir una sociedad abierta e incluyente, que los conducirá en tiempos futuros a cimentar relaciones interculturales más intensas y amplias con el denominado “mundo científico”. Desde la gestión local y la intervención de cada uno de sus actores se “defiende y sostiene, en efecto, sistemas municipales de escolarización sin la intromisión del Estado mexicano en materia de decisión, y también de financiamiento, supervisión y capacitación” (Baronnet, 2009: 9). Con estos principios construyen una educación intercultural cada vez más real y posible.

Contribución de la educación zapatista decolonizada a la Paz

Los Estudios para la Paz surgen como un campo del saber en el que, a partir

del encuentro entre múltiples disciplinas, se establecen las guías de acción para transformar los conflictos y contrapesar la violencia que caracteriza a las sociedades contemporáneas. Desde el aporte multidisciplinario del conocimiento, se pretende incidir en la violencia por la no-violencia, la guerra por la mediación de conflictos, la desigualdad por la equidad, y así en lo sucesivo construir una sociedad que dé cabida a múltiples formas de pensar, de ver, de sentir y habitar el mundo. Una sociedad pacífica es aquella en la que la diversidad y la pluralidad son vistas como oportunidades y no como impedimentos para la integralidad. Los pueblos indígenas y grupos marginados son protagonistas del cambio social en tanto que representan la multiculturalidad y la oportunidad de edificar relaciones sociales igualitarias a pesar de las divergencias y contrariedades del mundo actual. En este proceso de cambio, cabe destacar que la educación intercultural funciona como campo estratégico para la transformación de las relaciones sociales, siempre que contribuya a erradicar los valores, concepciones e imaginarios negativos que limitan la interacción con los otros, que en un sentido amplio y para el caso de México son: indígenas, afrodescendientes, gitanos, musulmanes, protestantes, otras religiones, otros géneros, otras nacionalidades, discapacitados, menonitas, pobres, morenos, chaparritos, ricos, ancianos, niños, (in)sumisos, liberales, conservadores, y todos aquellos que en espacios específicos constituyen al otro diferente a lo mayoritario, a lo hegemónico y a lo dominante, en sentido social y cultural.

La experiencia autonómica de las comunidades zapatistas desafía la política educativa del Estado-Nación mexicano, caracterizada por el centralismo indigenista, y muestra que es posible gestionar el conflicto de amplias raíces socioculturales que trascienden el ámbito económico y político, mediante la construcción de un sistema educativo propio, donde lo indígena y lo mestizo dialogan en un esquema de integralidad e inclusión, a partir de una concepción crítica de la educación y en perspectiva de revalorar las culturas originarias.

La educación intercultural que los indígenas zapatistas ejercen es ejemplo de transformación pacífica de un conflicto que confronta a la figura del Estado con las comunidades indígenas, porque a éstas se les niega la oportunidad de participar en el entramado social de manera libre y bajo sus propias concepciones. Los Estudios para la Paz contemplan una serie de vías o mecanismos para trabajar a favor de la no-violencia y la mediación de conflictos, una de ellas es la educación para la paz. La no-violencia significa un programa constructivo de acción, un pensamiento nuevo, una nueva concepción del hombre y del mundo. Educar

para la paz consiste en enseñar a los educandos a gobernarse y a ser suficientes, con un mínimo de dependencia y mínima jerarquía. En fin, armonizar las cuatro dimensiones del ser del niño: su cuerpo, su intelecto, su sensibilidad, su espíritu (Weyer, 1988 citado por Jares, 1999) y ello es justamente lo que la educación indígena en Chiapas adelanta, pero en perspectiva indígena.

Entendemos a la paz en su acepción positiva, aquella donde el conflicto es inherente a las relaciones humanas, pero que puede transformarse mediante el diálogo. A través de la no-violencia (contacto con la naturaleza, armonía del espíritu con la creación y la educación en la vida) se reproduce en la escuela zapatista una convivencia armónica en la que lo indio y lo mestizo tienen cabida. De acuerdo con los principios de la corriente internacionalista de la Educación para la Paz, se busca conformar una sociedad universal alejada de las armas y cercana a la convivencia armónica de sus miembros en y de cualquier parte del mundo. Es necesaria una pedagogía en la que se trabaje por potenciar la fraternidad, los sentimientos de amistad, solidaridad y entendimiento entre las personas de todo el mundo (Jares, 1999). Ello requiere una Educación para la Paz que, entendida como.

“(...) un proceso educativo, dinámico, continuo y permanente, fundamentado en los conceptos de paz positiva y en la perspectiva creativa del conflicto, como elementos significantes y definidores, y que, a través de la aplicación de enfoques socioafectivos y problematizantes pretende desarrollar un nuevo tipo de cultura, la cultura de la paz, que ayude a las personas a desvelar críticamente la realidad para poder situarse ante ella y actuar en consecuencia”
(Jares, 1999: 124)

En nuestro caso, dotar a las personas de capacidades para cuestionar el actual sistema económico y transformar la violencia impuesta por las estructuras económicas, exigir el respeto a sus derechos individuales y colectivos, así como practicar la democracia y ejercer los derechos ciudadanos, conforman el presupuesto indispensable para el logro de una verdadera sociedad pacífica y armónica. Alcanzar relaciones no violentas requiere cambiar las condiciones en las que surgen las disparidades e iniquidades sociales que limitan la convivencia armónica, a partir del diálogo intercultural. Es por esto que el ejercicio autonómico de los pueblos indígenas es un escenario para la paz, porque a partir de la no-violencia busca cambiar las condiciones de desventaja y exclusión en la que

viven millones de indígenas en México.

La educación intercultural, la otra interculturalidad, crítica y decolonizada, es uno de los pilares fundamentales de la educación para la paz en México, porque en ella se gestan los valores del diálogo intercultural como el respeto mutuo, la complementariedad, el sentido de comunidad, la reivindicación de lo indígena y la socialidad equitativa. La trascendencia de la educación intercultural indígena radica en reconocer que

“(...) una sociedad estructuralmente violenta no puede educar para la paz, porque el proceso de socialización, cuya educación está dirigida, está siempre orientado a perpetuar la violencia, mientras solamente una sociedad verdaderamente pacífica puede educar para la paz, perpetuándose a través de su proceso de socialización”
(Borrelli, 1984 citado por Jares, 1999: 177)

Crear condiciones y mecanismos para la convivencia pacífica es el aporte de la educación intercultural indígena, mediante la creación de un modelo propio de educación en el que se fomenta el diálogo con el otro y se construyen escenarios para el intercambio y la complementariedad tanto en las comunidades indígenas, en las mestizas, y en las de diversidad étnica y cultural. El proceso dialéctico que se instaura con la educación zapatista, muestra que es posible superar diversas formas de violencia existentes en el modelo educativo oficial, partiendo de la violencia cultural, que tiene expresiones en la indiofobia y en la comunicación en un solo sentido; la fragmentación de la comunicación de los receptores, ya que no pueden desarrollar una interacción horizontal, organizarse y al final cambiar de dirección de la comunicación: ausencia de una realidad multilateral (Galtung, 1973 citado por Jares, 1999). La educación intercultural del zapatismo, que tiene sus propios métodos, programas y planes de estudio elaborados e instrumentados por los mismos indígenas, manifiesta que es posible transformar las maneras de abrir espacios en los que individuos y comunidad tengan participación e incidencia, es decir, que sean protagonistas de su propio quehacer educativo.

Colocar a los actores en situación de igualdad es el primer requisito, posible a través de condiciones objetivas y subjetivas equitativas, de reconocimiento recíproco, de valoración del otro y del ejercicio de los derechos. Partir de lo propio, decolonizar la educación y romper con la dominación epistemológica

son instrumentos indispensables para este proyecto de largo alcance, en el que se pone en juego la dinámica cotidiana de las interacciones y la convivencia social armónica. La importancia de la educación para la paz se contempla dentro del Manifiesto para la Paz, documento firmado en Turín en 1982, que propone la idea de “sensibilizar a la escuela sobre los problemas de la paz y la guerra” como elemento integrante de nuestra responsabilidad en la implantación de una pedagogía cooperativa, solidaria y crítica, integrada en los movimientos sociales del mundo y capaz de crear condiciones de enseñanza y aprendizaje que tengan consecuencias positivas para la vida de la humanidad (Alcobé citado por Jares, 1999). El reconocimiento de la pedagogía crítica es indispensable en la práctica de una verdadera educación intercultural, de allí la importancia de llevar a cabo un modelo educativo que parta de lo propio y propague la interacción y la convivencia con el otro.

La construcción intercultural de la educación indígena es un mecanismo para la paz porque, a partir de la reivindicación de los pueblos originarios, lleva a la práctica el encuentro entre culturas desde el diálogo y el intercambio. Mediante el ejercicio autonómico, los pueblos indígenas hacen valer sus derechos, y desde la no-violencia promueven una educación de acuerdo con el autogobierno indio, el cual se encarga de crear, organizar, controlar y solventar los procesos locales de la manera que eligen y estiman más pertinente en relación a una serie de consideraciones de orden social (Baronnet, 2009). En función de los principios de organización social y política, la diversidad cultural coadyuva a la transformación de la hegemonía misma, que desde sus estructuras y el control del poder (económico, religioso, militar, gubernamental) violentan la convivencia cotidiana.

Transitar a una sociedad pacífica y más armónica requiere de una educación desde la interculturalidad, que permita recuperar la diversidad temporal de la humanidad y reactivar su memoria como eje central de procesos de formación personal de aprendizaje local (Fornet, 2006). Romper con la dominación y subordinación de lo moderno occidental para frenar el exterminio cultural y los conflictos étnicos, es esencial en la actualidad. Es posible una sociedad pacífica cuando se actúa desde ámbitos estratégicos como la educación y la educación autonómica zapatista, que se encuentra inmersa en un modelo de intercambio intercultural donde

“(...) la principal ventaja que los pueblos rebeldes consideran acerca de la autonomía escolar es su capacidad de (re)valorizar los conocimientos generales, prácticos y éticos, que estiman útiles, necesarios o prioritarios para fortalecer su identidad y su dignidad como miembros de un pueblo campesino tseltal, mexicano y zapatista” (Baronnet, 2009: 190)

Se manifiesta la trascendencia del componente vivencial de la Interculturalidad indígena para asumir su práctica como elemento cotidiano, algo que debe estar presente en cada ámbito de lo social. Cuando el alzamiento zapatista a favor de la autonomía educativa pone en tela de juicio la posición de intermediación interétnica que la educación oficial ejerce, revela la contradicción de ésta con la herencia indigenista (Baronnet, 2009). El choque cultural genera conflictos que, al no ser mediados o gestionados a través del diálogo intercultural, devienen en violencia física o directa, lo que dificulta su resolución. Los zapatistas, mediante la no-violencia practican su autonomía, desde su propia realidad, su cosmogonía y modelo educativo intercultural para demostrar que la decolonización y el diálogo son posibles. En este proceso

“(...) la educación tanto en la escuela como en la universidad, tiene que dejar de ser un instrumento al servicio del fortalecimiento de la asimetría epistemológica que reina en el mundo actual. Si tomamos en serio la diversidad cultural, tenemos que pluralizar epistemológicamente la educación para que ésta sea un servicio a favor del equilibrio de los saberes. La educación misma debe convertirse en crisol de diversidad, ser gestora de pluralidad epistemológica enseñando a reaprender lo que sabemos con el saber del otro (Baronnet, 2006:75- 76).

Partiendo del supuesto de Galtung (1985) de que la paz se crea y se construye con la superación de las realidades sociales perversas, la educación intercultural representa la oportunidad de comenzar a superarlas. La participación democrática e incluyente debe regir el modo en que ésta se lleva a cabo, porque el objetivo es formar a individuos y sociedades capaces de cuestionar las relaciones de poder y el dominio hegemónico en la gestación de una sociedad más justa y equitativa. La educación zapatista que por dos décadas se funda en un proyecto escolar intercultural, construido mediante el control comunitario y municipal,

crea un escenario de encuentro e intercambio donde lo indígena y lo mestizo no se excluyen o subordinan, más bien se enriquecen e integran. Ello muestra que el diálogo intercultural es una práctica de paz, es lo que mueve a generar, con el apoyo de todas las culturas, procesos de universalización que vayan creando a su vez hábitos de saber vivir juntos compartiendo y equilibrando el mundo. Como afirma Fonet (2004).

“La paz es la esperanza de equilibrar el mundo, y un camino hacia ese equilibrio es la interculturalidad, ya que nos encamina hacia un nuevo tipo de relaciones de convivencia y con ello hacia una universalidad solidaria y compartida; una universalidad en equilibrio, sin ninguna firma cultural determinada, porque todo intento de firmarla o de ponerle el sello de una determinada cultura representaría una forma de desequilibrio y un asalto a lo común, es decir, una recaída en la violencia y en los hábitos de dominación”
(Fonet, 2004: 103- 104)

Teniendo en cuenta lo expuesto, el modelo de educación intercultural para la paz que los grupos indígenas zapatistas llevan a cabo, representa una oportunidad para el empoderamiento pacífico de resistencia y convivencia con los demás, a partir de principios como el de la dignidad humana individual y colectiva; el de la solidaridad fincada en el diálogo y la cooperación; y el de la equidad de género y la autonomía de las mujeres, practicados de manera concreta y cotidiana en sus propias comunidades.

Dificultades de la educación Zapatista.

En México, el escenario prometedor sobre la oportunidad de transformación que la educación intercultural zapatista representa, se empaña cuando retomamos su relación con el Estado y con las Instituciones que éste establece para la administración e instrumentación de la educación intercultural. En primer lugar, sabemos que la educación intercultural indígena es tan antigua como los mismos pueblos originarios (siempre han tenido formas y métodos para instruir y formar a los menores dentro de la comunidad), mientras que la educación intercultural que el Estado pregona fue inaugurada con el establecimiento de las Universidades Interculturales en el año 2004. La deuda histórica con los pueblos indígenas en el terreno educativo se convirtió en neo indigenismo, y con ello se legitimó la sujeción a la hegemonía mediante nuevas herramientas de control educativo y

de asimilación cultural. Ello tiene que ver con un problema central que alude al poder político y al no reconocimiento real de los derechos colectivos de los pueblos indígenas, concretados en la autodeterminación y la autonomía, punto de inflexión entre el Estado y los pueblos originarios que se resisten a perder su identidad y su cultura.

Educar desde la interculturalidad para los indígenas en contextos autonómicos, es una forma de mostrar que lo indio y lo mestizo no se contraponen, que es posible dialogar mediante el intercambio de bienes simbólicos y culturales, a través de principios equitativos, de igualdad de condiciones para que los individuos sostengan intercambios equilibrados. Las relaciones de poder se cuestionan para colocar a las culturas frente a frente, donde no haya una que se superponga a la otra. Inmersos en la globalidad y la vigencia del modelo neoliberal, esta apuesta representa un riesgo para la pérdida de privilegios y de dominio económico, político, religioso y social mestizos. Transitar a una sociedad intercultural requiere transformar esas estructuras y romper con las condiciones de desventaja y subordinación en la que viven millones de personas debido a su origen étnico racial y cultural.

Los pueblos originarios exigen su derecho a ejercer sus culturas, a ser reconocidos como ciudadanos y como miembros de un país, a ser tomados en cuenta en los proyectos sociales, a intervenir en la vida política y recibir servicios de salud, infraestructura en un esquema de respeto e igualdad frente al resto de la sociedad. Siglos de marginación y dominación para estos pueblos se traducen en exclusión, enfermedades, escasez de recursos económicos y materiales que los coloca en desventaja y les impide intervenir en el entramado social. Los pueblos zapatistas se enfrentan a una serie de limitaciones en el ejercicio de la educación intercultural: el Estado no reconoce a esta modalidad educativa como un mecanismo de formación legítima o válida para incorporar a los indígenas en la vida del país, carecen de infraestructura y recursos para desarrollar esta modalidad educativa, son víctimas de violencia estructural (marginación y pobreza), violencia cultural (racismo, indiofobia) y violencia directa (agresiones físicas) cuando son reprimidos por parte de la fuerza pública o los grupos paramilitares.

Negar la educación intercultural zapatista es negarle al país la oportunidad de construir una sociedad abierta e incluyente, es negar el reconocimiento del otro, de

la otra educación, de la otra interculturalidad, es contravenir el principio básico de la interculturalidad en cualquiera de sus acepciones: el reconocimiento de lo otro, de lo diferente. Como plantea Fornet (2006), hay que reclamar que los saberes tengan tiempo y lugares reales en el mundo, para que los programas educativos sean espacios de participación y discernimiento intercultural de lo que debemos saber y transmitir para la universalización humanizadora de cada ser humano. De esta manera se apuesta por la educación, por ese espacio de intervención en el que se cimientan las bases y se dirige el porvenir de las sociedades. El reto actual es actuar desde el ámbito educativo para contribuir a transformar la dominación y la subordinación en relaciones equitativas para consolidar una cultura y una sociedad de paz, posibles sólo desde el reconocimiento e integración de las diferentes culturas que la conforman.

A pesar de las trabas que desde el Estado y la misma sociedad mestiza se imponen a la educación intercultural zapatista, el aporte de entrega y servicio al pueblo y la comunidad sigue siendo eje rector que rescata el beneficio común y la trascendencia de la colectividad para ejercer otro modo de vida posible. Superar las violencias implica formar sujetos interculturales, individuos conscientes de los conflictos locales y globales, de sus causas y consecuencias, de las posibilidades de cambio y las herramientas disponibles para hacerlo. Un mundo conflictuado reclama creatividad, organización social, capacidad crítica y propositiva que aporten a la transformación, a la generación de mecanismos para la inclusión y la decolonización. Desde el saber y la conciencia de los pueblos originarios, surge la idea de construir alternativas para enmendar los daños y corregir las contradicciones del mundo actual, a favor de la toma de conciencia y el principio inviolable de la dignidad humana para fortalecer el respeto entre personas y culturas mediante el diálogo.

CONCLUSIONES

Apostar por una educación Intercultural basada en el diálogo, la filosofía intercultural y la decolonización del saber, significa afianzar un rumbo distinto, un escenario, que en los encuentros y desencuentros se reconozca la importancia de mezclarse, de interactuar, de comunicarse con el otro para crear relaciones más cercanas con el otro y así abrir espacio para que todos puedan habitar. La educación intercultural indígena del zapatismo abre esa ventana de oportunidad, así como la cosmovisión y práctica de los indígenas de los Andes en Suramérica

contenida en el “Buen Vivir”, y en la movilización indígena con miras a la construcción de proyectos alternativos, de cambio desde la no-violencia y el diálogo intercultural. Para superar la visión oficial y la indiferencia social acerca de la educación Intercultural, tenemos que mirar el modo en que indígenas y no indígenas reinventan la educación.

La cosmogonía que rige la vida indígena interviene en la educación y coloca las bases para su organización, diseño e implementación. Antes lucharon por el reconocimiento de sus derechos individuales y colectivos, ahora los ejercen mediante la educación que se imparte en los pueblos indígenas zapatistas como una forma de comprender que su autonomía y la libertad radican en preservar sus modos de organización social y política tradicionales. Con la educación intercultural reivindican su postura y lugar en la sociedad mexicana, además de manifestar su desacuerdo con el modelo intercultural que el Estado implementó. Las diversas limitaciones con las que tropieza la educación intercultural indígena se originan por el desconocimiento del Estado, de la negativa de colaboración para sostener sus espacios educativos y la represión del ejercicio autonómico. Sin embargo, la continuidad de un proyecto nacido en lo indígena y para lo indígena tiene la tarea de radicalizar lo educativo para penetrar a fondo el espacio social donde se requiere democratizar e integrar.

La causa indígena plantea objetivos con trascendencia en su proyecto intercultural para articular a los actores del cambio, como las movilizaciones sociales, las organizaciones no gubernamentales y los grupos de resistencia para fortalecer la propuesta alternativa de vida social.

La educación seguirá siendo un componente estratégico para promover el respeto y el reconocimiento de los otros a través de la conciencia colectiva emergida desde abajo para dotar a los individuos de capacidades, de valores y actitudes a favor de la convivencia y el reconocimiento pacíficos con “los otros”. Estos pueblos indígenas tienen tareas irrenunciables, puesto que han colocado los primeros cimientos para la edificación de una sociedad más justa, equitativa e incluyente, la cual construyen en diferentes ámbitos (políticos, económicos, sociales, culturales y educativos).

El ámbito político tiene como referente principal la autonomía indígena, la cual ejercen a través de las Juntas de Buen Gobierno en los Caracoles que han

formado en los municipios autónomos. Esta dinámica política se extiende al ámbito educativo con una educación que tiene sus lógicas en la cosmogonía de los pueblos indígenas, la cual se encuentra determinada por la construcción de la paz en contextos de ejercicio de la autodeterminación en sus regiones autónomas, materializando la concreción de otro mundo posible, como ellos lo enfatizan, con paz, justicia, libertad y democracia.

BIBLIOGRAFÍA

- Baronnet, Bruno (2009). *Autonomía y educación indígena: las escuelas zapatistas de las Cañadas de la Selva Lacandona, Chiapas, México*. Tesis de Doctorado en Ciencia social con especialidad en Sociología. Colegio de México, Ciudad de México.
- Barriga Villanueva, Rebeca (2004). “La interculturalidad en tres preguntas” en Corona Berkin, Sarah y De la Peza Casares, Carmen. (Coords.) *Educación indígena. En torno a la interculturalidad*. Universidad de Guadalajara, Ciudad Zapopan, Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco, Jalisco, México. pp. 18-40
- Fornet- Betancourt, Raúl (2004). *Filosofar para nuestro tiempo en clave intercultural*. Revista Concordia, Reihe Monographien, Band 37. Wissenschaftsverlag Mainz, Aachen.
- Fornet- Betancourt, Raúl (2006). *La interculturalidad a prueba*. Wissenschaftsverlag Mainz, Aachen.
- Fornet- Betancourt, Raúl (2009). “Tareas y propuestas de la Filosofía Intercultural” en *Concordia, Internationale Zeitschrift für Philosophie*. Reihe Monographien. Tomo 49. Verlagsgruppe Mainz Aachen.
- Galtung Johan (1985). *Sobre la Paz*. Fontamara, Barcelona
- Gómez Hernández, Rubí Esperanza (2010). *Desarrollo, Educación e Interculturalidad. Desde los procesos de planeación participativa realizados entre 1996 y 2008 en la comuna seis (Doce de Octubre), Medellín-Colombia-Latinoamérica*. Tesis para optar el título de Doctora en educación Línea: Estudios Interculturales. Universidad de Medellín, Colombia.
- Jares R., Xesús (1999). *Educación para la Paz. Su teoría y su práctica*. 2ª ed. Editorial Popular. Madrid, España.

- Sandoval Forero, Eduardo Andrés (2010). “Las vibraciones democráticas y pacíficas del movimiento indígena en América Latina”, en Sánchez Vázquez Luis y Juan Codorníu Solé (Eds.) *Movimiento asociativo y cultura de paz. Una mirada desde Andalucía*. Instituto de la paz y los Conflictos, Univ. de Granada, España. Pp. 105-128.
- Walsh, Catherine (s/f). “Geopolíticas del conocimiento, interculturalidad y decolonización”. Ecuador. 6 pp. Disponible en línea
<http://www.wiphala.org/geopo25.htm>. Recuperado el 22 de marzo de 2011.
- Walsh, Cathernie (2009). *Interculturalidad, Estado, Sociedad. Luchas (de) coloniales de nuestra época*. Universidad Andina Simón Bolívar, Ediciones Abya- Yala. Quito, Ecuador.



Contaminación



IMPLICACIONES EN LA AGRICULTURA POR EL DERRAME DE HIDROCARBURO EN ACATZINGO, MÉXICO

**Franklin Rivera Pineda
Benito Ramírez-Valverde
José Pedro Juárez Sánchez
Beatriz Pérez Armendáriz
Néstor Estrella Chulim
Francisco Escobedo Castillo
Gustavo Ramírez Valverde**

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más grandes de este milenio es la contaminación y sus efectos sobre los seres vivos. Por tal motivo conviene conceptualizar el término contaminación como un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, tierra y el agua, que afecta a la vida humana o a las distintas especies y que puede agotar o deteriorar los recursos naturales y las materias primas que se extraen de los ecosistemas. En este sentido Phillips (2005: 125) plantea que los hidrocarburos generan degradación de suelos por pérdida de elementos nutrientes (*N, P, S, K, Ca, Mg*) y puede ser de manera directa o bien al ser eliminados por el petróleo que se infiltran en el suelo, o bien por erosión a través de las aguas de escorrentía, o de la forma indirecta por procesos de remediación de suelos.

Es por ello que hablar de contaminación en México, es hablar de petróleo, como uno de los productos que más impacto ha generado en los suelos de cultivo y con efectos negativos en la economía familiar campesina.

Al ocurrir un derrame de petróleo en un suelo mineral, inmediatamente disminuye la densidad aparente del suelo debido al incremento de carbono orgánico, sin embargo, después de algunos meses los hidrocarburos residuales, sobre todo los muy meteorizados, reducen la capacidad del suelo para volver a su situación natural luego de una compresión temporal, esto se debe al carácter parcialmente

oxidado de los hidrocarburos residuales, como una consecuencia de los procesos naturales de recuperación o debido al tratamiento del suelo mediante programas de remediación (Zavala *et al.*, 2005: 293).

Es importante tener en cuenta que la materia orgánica, al igual que los componentes inorgánicos del suelo, definen las propiedades físicas y químicas de los suelos, manteniendo una buena estructura porosa, lo que permite una mejor aireación, mejorando la retención de agua, así mismo favorece la incorporación de nutrientes tales como calcio, magnesio, potasio, amonio, manganeso, hierro y cobre que son una fuente de nitrógeno, fósforo, azufre, los cuales van siendo liberados a medida que la materia orgánica se oxida (mineraliza), además absorbe contaminantes orgánicos potencialmente tóxicos (pesticidas, herbicidas) y constituye el alimento de los microorganismos del suelo, así mismo contribuye al proceso de meteorización (Cicerone, 2009: 37).

En el año 2002 ocurrió una fuga de petróleo crudo en Acatzingo Puebla, derivada de la ruptura del oleoducto de 30" de diámetro. Por el derrame de hidrocarburo, se contaminó una superficie agrícola de aproximadamente 50 ha, afectando cultivos, suelo, animales y medio ambiente. El total de petróleo derramado ascendió a unos 450 mil litros de crudo. La superficie afectada fue remediada por compañías especializadas hasta lograr los límites aceptables de contaminación de acuerdo con las normas. En este estudio se tiene la información sobre las actividades productivas de las familias afectadas antes del siniestro y ocho años después en terrenos ya remediados.

Las afectaciones en Acatzingo, años después del derrame de hidrocarburos han sido poco valoradas y analizadas en términos de implicaciones negativas en el recurso suelo, considerado como un recurso estratégico de sobrevivencia de la unidad de producción familiar.

Partiendo de lo anterior en el presente trabajo se planteó como objetivo el identificar los efectos que ha ocasionado a los sistemas de producción y economía familiar de los productores de Acatzingo afectados por el derrame de hidrocarburo en los años 2002 y 2010.

La agricultura y los efectos por derrames de hidrocarburos.

En México existen extensas áreas contaminadas con hidrocarburo debido principalmente a derrames, así como a las actividades propias de la industria

petrolera. Este tipo de compuestos, se acumulan en ecosistemas marinos y en suelos, siendo los responsables de su deterioro. Algunos suelos contaminados, principalmente en el sureste de México, contienen concentraciones de hidrocarburos de hasta de 450,000 mg/kg (Gallegos *et al.*, 2000: 377). Esto significa que los suelos están contaminados por petróleo por encima de 1000 mg/kg, la norma permisible en México. Esto conlleva a la degradación del suelo, rebaja de las capacidades y disminución del potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente bienes y servicios (FAO-PNUMA, 1983). En este caso, los procesos productivos se ven afectados por la disminución de la fertilidad y pérdida del potencial químico biológico del suelo, lo que conlleva a pobres resultados en las cosechas. Es por ello que cuando los hidrocarburos entran en contacto con las partículas del suelo, se adhieren a ellas y modifican las propiedades de las mismas y los agregados del suelo se vuelven más estables al endurecerse con el tiempo y se vuelven menos porosos, más hidrofóbicos y su contenido en aire disminuye (Cassidy e Irvine, 1998: 259).

Otra consecuencia de la contaminación en el suelo por petróleo y sus compuestos asociados hace que los solventes se filtren y los sólidos y grasas permanezcan en la superficie o sean llevadas hacia tierras más bajas. Además la contaminación de suelo provoca la destrucción de los microorganismos, produciéndose un desequilibrio ecológico general. También se puede decir que los impactos típicos generados por la industria petrolera en el suelo incluyen la compactación del suelo, daño o destrucción de la rizósfera y suelo superficial, erosión y pérdida de suelo debido a la reducción de la vegetación y la contaminación con compuestos inorgánicos (sulfatos y sales) y orgánicos (especialmente hidrocarburos) (Canaday y Rivadeneyra, 2001: 567). Además puede producir el sofocamiento de las raíces, restando el vigor a la vegetación y en muchos casos, matándola con la desaparición o disminución de poblaciones de microfauna del suelo. Esto genera un desequilibrio y con ello la pérdida de la composición bioquímica de los suelos por lo que estos pierden potencial productivo (Butler *et al.*, 1973: 10).

Se puede decir que la contaminación severa del suelo con hidrocarburos impide su utilización en actividades como la agricultura. Además pone en riesgo las capas freáticas que constituyen la fuente principal de agua potable (Hanson *et al.*, 1997: 191). La contaminación por derrame de petróleo produce pérdidas en la fertilidad en el suelo, con su consecuente impacto negativo en las poblaciones humanas y en la biodiversidad en general asentadas en la zona del siniestro. Ello

significa que la contaminación por petróleo repercute en los sistemas agrícolas de las poblaciones locales, así como en el equilibrio ecológico de los ecosistemas naturales.

La permanencia del hidrocarburo puede variar dependiendo de su tipo, además las características del suelo y del medio, ya que juegan un papel importante en el proceso natural de descontaminación y equilibrio de procesos en el ecosistema afectado. Al respecto Atlas (1981: 180) argumenta que los principales factores que limitan la degradación del petróleo es la resistencia y toxicidad de algunos de sus compuestos y la escasez de organismos capaces de degradar los hidrocarburos.

Leahy y Colwell (1990: 305) mencionan que producto de los derrames, las poblaciones degradadoras por hidrocarburos se multiplican y sufren cambios genéticos que dificultan su funcionamiento en procesos degenerativos del crudo. También lo soporta Di Toro *et al.*, (2007: 24) mencionando que el petróleo está compuesto por diferentes componentes, cada uno de los cuales tienen distinto grado de toxicidad y diferente tiempo de permanencia en el ambiente. Esto implica que los vegetales se ven inmerso en diversos efectos, por los cuales tiene que readaptarse y generar mecanismos de defensa que les permita degradar el tóxico, que en muchos casos no se logra.

Se puede decir que la toxicidad tiene efectos adversos en suelos contaminados por hidrocarburos poli cíclicos aromáticos (PAH), naftaleno, fenantreno y pireno a niveles de 10 mil mg/kg y la toxicidad aumenta con el número de anillos aromáticos. El maíz es el cultivo más susceptible a los suelos contaminados con PAH y en menor proporción el frijol (Peterson *et al.*, 2003: 2082). Por otra parte, en suelos contaminados por largos períodos, conocidos como suelos intemperizados, los compuestos contaminantes llegan a ser inaccesibles (no biodisponibles) para los microorganismos nativos debido a las fuertes interacciones que se producen entre dichos compuestos y la materia orgánica del suelo (De Jonge *et al.*, 1997: 771).

Con respecto a su degradación, en estudios sobre el destino ambiental del petróleo se demuestra que aunque la toxicidad del crudo disminuye con la degradación biológica, este sigue siendo una fuente de contaminación y de toxicidad para los organismos presentes en un ecosistema por largo tiempo (Di Toro *et al.*, 2007: 24). Ante un derrame de petróleo, las plantas manifiestan daños

iniciales como muerte del follaje y tejidos, por lo que la comunidad vegetal responde a la contaminación con un cambio en la composición de especies. En el caso de los ecosistemas de humedales, algunas especies sufren daño foliar al entrar en contacto con el aceite, mientras que otras permanecen relativamente exuberantes y vigorosas (Mills *et al.*, 2003: 887). Pero también sufren las plantas en su rendimiento, en ese sentido Chaineau *et al.* (1997: 1470) encontraron en un ensayo en suelos con 200 a 800 mg kg⁻¹ de aceite combustible que disminuyó el rendimiento de maíz y trigo. También lo soporta Li *et al.* (1997: 219) en el cultivo de cebada en suelos con 20 mil y 40 mil mg kg⁻¹ de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) al decir que afectó el rendimiento de la biomasa.

Estos estudios concluyen que los vertidos de hidrocarburos en el suelo acaban con la vegetación, no solo por su toxicidad, sino además porque producen en el suelo una zona anoxia en las raíces. En donde la carencia de oxígeno y la producción de H₂S (Ácido sulfúrico) matan las raíces de la mayoría de plantas, incluyendo las raíces de árboles (Bossert y Bartha, 1984: 435).

MATERIALES Y MÉTODOS

En el año 2002 ocurrió una explosión en la comunidad de Acatzingo en el estado de Puebla, debido a una fuga de petróleo crudo en el kilómetro 407 + 640, derivada de la ruptura del oleoducto de 30” de diámetro. Como consecuencia del derrame, se contaminó una superficie agrícola de aproximadamente 50 ha, afectando cultivos, suelo, animales y medio ambiente, El total de petróleo derramado ascendió a unos 450 mil litros de crudo¹.

La mayor parte de los terrenos dañados directamente se localizan principalmente en el Ejido Santa María Actipan y pequeñas áreas en la periferia de Huixcolotla (Figura 1). Los cultivos más importantes en cuanto a superficie al momento del siniestro eran hortalizas, frijol y en mayor escala maíz.

¹ Machuca. L. (2002) Desastres por explosión en Acatzingo, Puebla, México. <http://www.jornada.unam.mx/2002/01/18/oriente-a.htm>. México 18 de Enero del 2002.

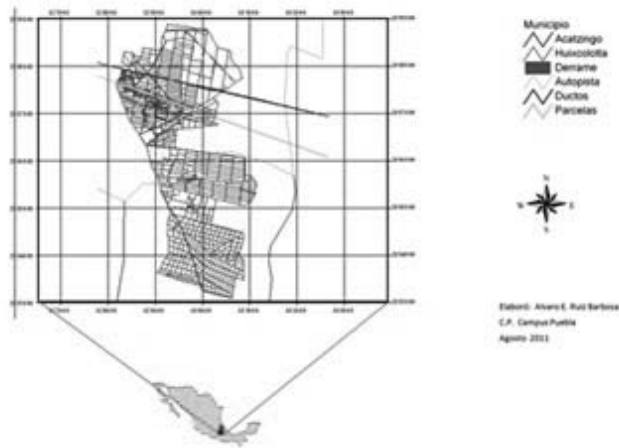


Figura 1. Localización de la zona siniestrada por derrame de hidrocarburos en Acatzingo, Puebla.

El estado de Puebla se ubica entre los paralelos $20^{\circ} 50'$ - $17^{\circ} 52'$ N, latitud norte y los $96^{\circ} 43'$ - $99^{\circ} 4'$ O, de longitud Oeste; su población es de 5'779,829 millones de habitantes distribuidos en 217 municipios (INEGI, 2010). El municipio de Acatzingo se localiza en la parte central del estado de Puebla, tiene una superficie generalmente plana y con suelos de cambisol, con una extensión territorial de 125.02 Km² y una población de 52,078 habitantes, el 37.1 de su población se encuentra en pobreza alimentaria. La principal actividad económica del municipio es la actividad agrícola, minería, petróleo, ganadería, industria, comercio, turismo, caza, pesca. (INEGI, 2010). En Acatzingo se ubica la comunidad Actipan de Morelos, donde se generó el mayor impacto por el derrame. Con respecto a la población económicamente activa en esta comunidad, se tiene que la mayoría se dedica a la agricultura y generalmente producen granos básicos y hortalizas. La producción agrícola se realiza en tierras fundamentalmente de temporal, es una zona seca y la ocurrencia de heladas y sequías es frecuente (INEGI, 2010).

Otro municipio afectado en menor escala por el derrame fue San Salvador Huixcolotla, localizado en la parte central del estado de Puebla. Tiene una superficie de 33.18 kilómetros cuadrados, con una población de 13,541 habitantes. El municipio es clasificado con grado de marginación medio. La

superficie sembrada para el 2009 fue de 2,077 ha con una superficie cosechada de 777 ha (INEGI, 2010).

Para el presente estudio se consideró la totalidad (79) de las familias afectadas directamente por el derrame en el año 2002 y volvieron a ser entrevistadas en el 2010. Además de las entrevistas a miembros de la totalidad de las familias afectadas, se utilizaron recorridos de campo para observar el impacto del derrame en los terrenos. Para la colecta de información secundaria se realizó una revisión bibliográfica de libros, páginas web, artículos y se consultaron páginas de las diversas secretarías de gobierno para obtener datos relacionados con el estudio.

Indagación.

Para la obtención de la opinión de los productores afectados por el derrame de hidrocarburo en el año 2002, se tomaron los resultados de un trabajo interdisciplinario de académicos del Colegio de Postgraduados que operó en la zona inmediatamente después del derrame y posteriormente se diseñó y aplicó un cuestionario en el 2010 usando la técnica de entrevista directa acotada en un cuestionario estructurado con algunas variables similares, con el fin de valorar los cambios que se dieron de acuerdo a la opinión de los productores en este periodo de estudio.

Para conocer las afectaciones por el derrame de hidrocarburos en las unidades de producción, se consideró la opinión de 79 jefes (as) productores (as) de familia, los cuales fueron entrevistados en dos periodos de tiempo, en el año 2002 y en el 2010. Para la colecta de la información se aplicó un cuestionario estructurado en áreas referentes a la afectación ambiental, económica y social, con el objetivo de comparar dos cortes transversales de tiempo indicadores productivos económicos y sociales.

Para determinar significativamente la diferencia o igualdad de opinión en la afectación o implicaciones por el derrame de hidrocarburo se utilizó la prueba de Wilcoxon de muestras relacionadas y la t de Student para muestras relacionadas. La selección de la prueba fue en función de la escala de medición de la variable. En ambas pruebas se utilizó un nivel de significancia de 0.05. La razón del uso de las pruebas Wilcoxon y t de Student se da por que los 79 entrevistados provienen de la misma muestra y cada opinión es valorada en dos momentos temporales diferentes, siendo el año 2002 la referencia para identificar las

diferencias de opinión vertidas en el año 2010. El software utilizado para la captura, ordenamiento, codificación de información y generación de resultados fue el SPSS 15.0.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Características de los activos productivos.

Los productores de la región son familias pobres, dedicadas a la agricultura, con pequeñas parcelas de cultivo las cuales son usadas como única forma de sobrevivencia o sostén familiar y producto del derrame que se originó en el 2002 se evidenciaron un sinnúmero de sucesos en la composición familiar y en el medio ambiente. De acuerdo con esto, en los años 2002 y 2010 un 95% de los campesinos afectados por el derrame opinaron que se contaminó por el siniestro al menos un predio. Con relación a las características de sus terrenos se encontró que el 90% de los productores tiene propiedad ejidal y 84.9% manifestó que sus terrenos son de temporal. Sobre los cultivos que estas familias siembran se encontró que un 68% se dedican al cultivo de maíz, frijol y hortalizas. El 95% de los productores tienen en promedio 1.7 ha y al ocurrir el derrame se les contaminó entre 0.5 y 0.9 ha de sus terrenos.

Características generales de la afectación.

Al preguntar a los productores sobre la calidad de sus suelos, en el 2002 el total de los productores opinaron que sus suelos se encuentran muy contaminados y que no tenían buena filtración de agua en los mismos, en el 2010, el 61% opinó que sus suelos se encuentran poco contaminados y 69.2% planteó que los suelos no tienen buena filtración de agua. 69.8% planteó que al no haber buena filtración de agua los suelos no retienen la humedad y los cultivos se ven afectados en los procesos de germinación y desarrollo, al respecto Burns y Codi (2004: 2) encontraron que después de un derrame quedan concentraciones de crudo a niveles subtóxicos en la zona intersticial de los vegetales que afectan su funcionamiento y producción si no se manejan adecuadamente.

Al asociar las opiniones de los productores con el impacto ambiental del derrame en sus suelos, 98.7% de los entrevistados manifestaron que este provocó un impacto severo en el suelo y la afectación se extendió a plantas y animales silvestres, también mencionaron que se refleja en los rendimientos de sus cultivos al disminuir en un 33% la producción y los ingresos generados por la

actividad agrícola cayeron un 35%. El 71.7% de los productores atribuyen las causas del bajo rendimiento a que los suelos todavía están contaminados. Con relación a esto, Amin y Comoglio (2002: 139) mencionan que petróleo crudo ligero y el refinado tienen la capacidad de penetrar en el suelo y llegar a las capas freáticas y puede ser muy tóxico para la microflora del suelo. En otro estudio realizado por Gundlach *et al.* (1993: 303) encontraron una disminución en la biomasa de las epifitas (*Bostrychia*) después de un derrame de petróleo en Puerto Rico, demostrando la influencia del petróleo en el desarrollo del *Bostrychietum*, en este caso el hidrocarburo interfiere en los procesos productivos de cualquier cultivo y en aspectos fisiológicos de cualquier especie vegetal.

Al analizar la problemática económica se encontró, de acuerdo con la prueba de Wilcoxon, que existe diferencia estadística ($Z = -7.289$; $p < .001$) en las opiniones de los productores a través del tiempo. En el año 2002 el total de los productores entrevistados opinaron que tuvo una afectación muy fuerte en la parte económica familiar, para el año 2010, un 56.4% manifestó que el grado de problema económico que atraviesan es problemático o muy problemático. Puede observarse entonces, que el siniestro causó un fuerte impacto al momento de ocurrencia y ocho años después persistían las secuelas del accidente, con una afectación a la situación económica de las familias que habitaban la comunidad.

Con respecto a las características del suelo, se encontró que para el 2002, el total de los productores opinaron que no tenían buena filtración de agua en sus suelos, pero en el 2010, el porcentaje de opinión negativa disminuyó hasta un 62%. En cuanto a la retención de la humedad por los suelos, en el año 2002 el total de los productores opinaron que los suelos no retenían la humedad, mientras que en el 2010, la opinión negativa disminuyó hasta un 60.8%.

Las consideraciones en los efectos a los árboles de las parcelas contaminadas no tuvieron diferencias, de acuerdo a la opinión de los productores fueron similares en los dos periodos de tiempo. En el 2002 el total de los productores entrevistados manifestó que el derrame tuvo efectos negativos en los árboles de sus parcelas ya que la mayoría se perdió. Para el 2010, el 98.5% opinó que hubo efectos negativos en los árboles y se perdió por los daños causados por el hidrocarburo.

El impacto sobre los animales mostró diferencias en la opinión de los productores, para el 2002, el 91.1% manifestó que los animales no fueron afectados por el

derrame. No obstante, en el 2010 el porcentaje de opinión varió, ya que un 96.2% manifestaron que sus animales fueron afectados por el derrame de petróleo en sus suelos.

La participación en actividades de investigación agrícola no mostró diferencias estadísticas, para el 2002 un 70.9% opinaron que estarían interesados en participar en eventos de investigación, para el 2010 un 77.2% también manifestó que le gustaría participar en trabajos de investigación agrícola.

El impacto ambiental por el derrame en sus terrenos de cultivo se midió mediante una escala del tipo ordinal y se encontraron diferencias estadísticas al aplicar la prueba de Wilcoxon ($Z = -3.642$; $p < .001$) entre los dos periodos de tiempo, para el año 2002 un 87.3% de los productores manifestaron que sus suelos estaban muy contaminados, el porcentaje disminuyó para el 2010 a un 59.5%. Este resultado es importante, debido a que para el año 2010, ya se había realizado las obras de remediación de suelos y significa que los productores no están conformes con el resultado de la remediación y atribuyen problemas de fertilidad sus suelos como consecuencia del siniestro aún después de varios años de haber ocurrido. En ese mismo sentido, se preguntó a los productores sobre el grado de afectación a las actividades agrícolas por el derrame de hidrocarburos y mediante pruebas de Wilcoxon ($Z = -7.607$; $p < .001$) se encontró diferencia significativa entre el año 2002 y el año 2010 en opinión de los productores. Para el 2002 el total de los productores entrevistados manifestaron que la afectación a sus terrenos agrícolas fue muy fuerte, para el año 2010 la percepción de ellos cambio dado que un 70.9% manifestaron que la afectación fue fuerte. Es necesario reiterar que para el 2010, los suelos ya habían sido remediados, sin embargo los productores mantenían la queja de reducción de la producción de sus terrenos.

En cuanto a la importancia del trabajo agrícola, los productores entrevistados en el periodo 2002, mencionaron que era muy importante para ellos, en cambio para el 2010, el 87% de los productores respondieron que el trabajo agrícola era importante. Los entrevistados mencionaron que las condiciones del campo ya no son las mismas y que lo poco que producen solo les ajusta para sobrevivir. Con relación a los efectos en la salud de las familias afectadas en el 2002 los productores respondieron en un 91% que no se presentaron problemas de salud atribuibles a la contaminación de los suelos. En el año 2010 se realizó la misma pregunta sobre afectaciones a la salud y se encontró que un 90% opinaron que

fue afectada su salud por estar en contacto directo con los suelos siniestrados. De este porcentaje el 88.9 % planteó que las enfermedades que padecieron fueron de tipo respiratorias y alergias en la piel.

En cuanto a la obtención de ingresos para la manutención de su familia, 43.39% de los entrevistados en ambos años plantearon que tenían otra parcela para trabajar. En el 2002 los productores plantearon en un 68.35% que recibieron ayuda de otros familiares, en cambio en el 2010, el 58.75% opinó que tenían otra parcela para trabajar.

La opinión con respecto a la indemnización que recibieron los productores en el 2002 ellos respondieron en un 71% y en el 2010 el 77%, que el dinero que recibieron no era suficiente para hacer frente a la afectación de su parcela. Es claro que en algunas regiones existe experiencia de la población para solicitar y obtener mayores recursos por la indemnización de sus propiedades afectadas. En este caso, en la región no existe este tipo de experiencia y casi una década después del siniestro la población se manifestaba respecto a la insuficiencia de recursos para compensar el daño ocasionado.

La percepción de riesgos futuros de derrame mostró que no existen diferencias estadísticas de acuerdo con prueba de Wilcoxon ($Z = -1.414$; $p = .157$) en los dos períodos de tiempo comparados, puesto que en el año 2002 el total de los productores afectados planteó que tienen riesgos futuros de derrame en sus suelos de cultivo y para el año 2010, el 97.5% de los productores siguió considerando que tienen riegos. Es necesario mencionar, que de acuerdo con nuestros resultados las familias campesinas tienen temor de que en el futuro puedan ocurrir siniestros similares en este sentido es importante que Pemex demuestre las condiciones de seguridad de sus ductos en la región y establezca campañas de información a la población, con el fin de cambiar la percepción de los habitantes.

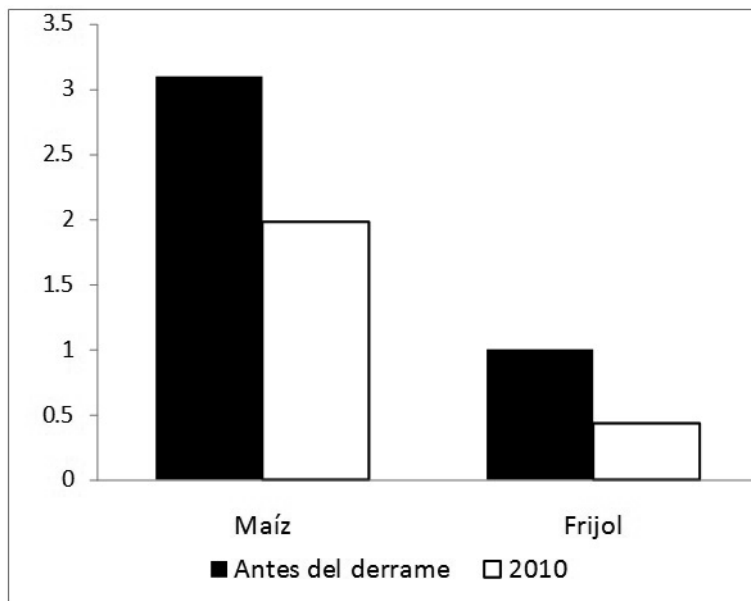


Figura 2. Rendimientos de maíz y frijol con los productores afectados antes del derrame y en el año 2010.

En la Figura 2 se muestra los rendimientos que tenían los productores antes del siniestro y en el 2010 de los principales cultivos para su alimentación. De acuerdo con información proporcionada por los productores se encontró el rendimiento de maíz en la región antes del siniestro era de 3.1 toneladas por hectárea, después del derrame en el año 2010 los índices de producción disminuyeron hasta 1.9 toneladas por ha. y de acuerdo con la prueba de t apareada, encontramos diferencia significativa ($t= 15.479$; $p< .001$) entre los dos períodos de tiempo comparados. En el caso del frijol se presenta una situación similar, para el 2002 la producción era de una tonelada por ha, en el año 2010 la producción disminuyó de acuerdo a su opinión hasta 0.438 toneladas por hectárea, con diferencia estadística ($t= 39.209$; $p< .001$) de acuerdo a una prueba de t apareada entre los rendimientos obtenidos antes del siniestro y ocho años después. Estos resultados no muestran que de acuerdo a la percepción de los campesinos, la producción de sus terrenos se redujo sensiblemente.

Con relación al trabajo dedicado a las actividades agropecuarias, se encontró que no existe diferencia significativa ($t= 0.174$; $p= 0.82$) entre los dos periodos de

tiempo estudiados, con un promedio de 7.87 horas diarias dedicadas al campo 2002 y 7.85 horas por día para el 2010. Con este dato puede observarse que los productores siguen laborando intensamente sus tierras, sin embargo, no se tienen los rendimientos que desde su percepción se obtenían antes del siniestro.

Esta reducción en los rendimientos obviamente que impactan fuertemente a los ingresos percibidos por los productores y la prueba t apareada nos muestra que existen diferencias estadísticas ($t= 2.321$; $p= 0.023$) con relación a los ingresos obtenidos por producción, en el 2002 percibían ingresos mensuales de \$2160 pesos y para el 2010 disminuyeron los ingresos mensuales por producción agropecuaria a \$1772 pesos.

Lo anterior ratifica la hipótesis que el siniestro tuvo efectos negativos en la parte socioeconómica y procesos productivos en los campesinos afectados por el evento y ocho años después continúan sufriendo las consecuencias del derrame de hidrocarburos.

CONCLUSIONES

La contaminación de los recursos naturales y su degradación, tiene efectos colaterales en los aspectos económicos y sociales de las poblaciones que viven directamente de la agricultura. Por otro lado la importancia económica de las explotaciones intensivas de petróleo ya que la principal fuente de divisas hace que la economía del país dependa de esta, pero el tipo de manejo y mantenimiento que se le ha dado a sus instalaciones y oleoductos ha provocado derrames y accidentales, dejando como consecuencia la contaminación de terrenos agrícolas que son parte del recurso natural explotado para la sobrevivencia campesina. Aparte de estas causas, hay otros efectos alternos de contaminación ambiental, que unido al anterior han provocado consecuencias sociales en poblaciones del Estado de Puebla.

Del estudio realizado en Acatzingo podemos concluir que al asociar las opiniones de los productores con el impacto ambiental del derrame, 98.7% de los entrevistados manifestó que este provocó un impacto severo en el suelo y la afectación se extendió a plantas y animales silvestres. Parte de su opinión está sustentada por que sus rendimientos disminuyeron así como sus ingresos por la actividad agrícola.

Existen diferencias en las opiniones brindadas en el año 2002 y las que proporcionaron en el 2010 con relación al impacto del derrame en sus suelos, en animales, la filtración de agua en sus terrenos afectados, la retención de la humedad del suelo, y el impacto en su producción agrícola. La percepción los productores es que su suelos están contaminados y el derrame generó impacto negativo en la producción agrícola y en su economía familiar.

De acuerdo con una opinión de los productores, el impacto del derrame mermó los rendimientos en la producción de maíz y frijol, y esto nos muestra que ocho años después del siniestro las familias campesinas siguen resintiendo el impacto del siniestro y que los apoyos, tanto de remediación del suelo como de estímulos económicos han sido insuficientes para revertir las difíciles condiciones de vida de estas familias.

BIBLIOGRAFÍA

- Amin, O. y L. Comoglio. (2002). Toxicidad del petróleo diesel en el primer estadio larval de la centolla (*Lithodessantolla*) y del centollon (*Paralomis granulosa*). Revista de Biología Marina y Oceanografía 37 (2): 139 – 144
- Atlas, R.M. (1981). Microbialdegradation of petroleumhydrocarbons: Anenvironmental perspectiva. Microbiological Reviews 45: 180-209.
- Bossert, I. y R. Bartha. (1984).The fate of petroleum in soil ecosystems.En: R.M. Atlas (ed) PetroleumMicrobiology. MacMillan, Nueva York, pp. 435-473.
- Butler, J.N., Morris, B.F., y J. Sass. (1973). Pelagic tar from Bermuda and the Sargasso Sea. Bermuda Biological Station Special Publication No. 10. Bermuda.
- Burns, K.A. y S. Codi. (2004). Contrasting impacts of localized versus catastrophic spills in mangrove sediments. Mangroves and Salt Marshes. Volume 2, Number 2: 6374.
- Canaday, C. y J. Rivadeneyra. (2001). Initial effects of a petroleum operation on Amazonian birds: terrestrial insectivores retreat. Biodiversity and Conservation 10: 567-595.

- Cassidy, D.; y R. Irvine. (1998). Interactions between organic contaminants and soil affecting bioavailability. En: *Bioremediation Principles and Practice*. Volumen I: Fundamentals and Applications. Editado por Sikdar, S. e Irvine, R. Technomic Publication. Pennsylvania, Estados Unidos. p. 259-282.
- Chaineau, C.H., J.L. Morel y J. Oudot. (1997). Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbons. *J. Environ. Qual.* 26: 1470-1483.
- Cicerone. D. (2009). Contaminación y medio ambiente. Argentina: Eudeba. p 37.<http://site.ebrary.com/lib/bibliocolpossp/Doc?id=10357584&ppg=37>.
- De Jonge, H; Freijer, J.I.; Verstraten, J.M.; Westerveld, J. y Van der Wielen. (1997). Relation between bioavailability and fuel oil hydrocarbon composition in contaminated soils. *Environ. Sci. Technol.* 31 (3): 771 – 775
- Di Toro, D.M. McGrath, J.A., y W.A. Stubblefield. (2007). Predicting the Toxicity of Neat and Weathered Crude Oil: Toxic Potencial and the Toxicity of Saturated Mixtures. *Environmental Toxicology and Chemistry* 26(1): 24 -36.
- FAO-PNUMA. (1983). Directrices para el control de la degradación de suelos. Roma.
- Gallegos-Martínez, M.; Gómez-Santos, A.; González-Cruz, L.; Montes de Oca-García, A.; Yáñez- Trujillo, L.; Zermeño-Eguía Lis, J. y M. Gutierrez-Rojas. (2000). Diagnostic and resulting approaches to restore petroleum-contaminated soil in a Mexican tropical swamp. *WaterSci. Technol.* 42, 377-384.
- Gundlach, E.R., J.M. Michel, G.I. Scott, M.O. Hayes, C.D. Getter y W.P. Davis. (1993). Ecological Assessment of the Peck Slip (19 Diciembre, 1978) Oil spill in Eastern Puerto Rico. *Memorias: Conferencia sobre Evaluación de Daño Ecológico*, Washington, DC, EEUU. 1979, pp. 303-318.
- Hanson, K.; Anuranjini, N. ;Madhavi, K. ; D. Anjana. (1997). Bioremediation of crude oil contamination with *Acinetobacter* sp. A3. *Current Microbiology*. Baroda, India. 35:191-193.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2010) Estudio socioeconómico y de población de México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

- Li, X., Y. Feng y N. Sawatsky. (1997). Importance of soil-water relations in assessing the endpoint of bioremediated soils: plant growth. *PlantSoil* 192: 219-226.
- Leahy J.G. y R.R. Colwell. (1990). Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. *MicrobialReviews* 54: 305-315.
- Mills, M.A., J.S. Bonner, J.M. McDonald, Ch. A. Page y L. Autenrieth. (2003). Intrinsic bioremediation of a petroleum impacted wetland. *Marine Pollut. Bull.* 46: 887-899.
- Peterson, C.H Rice, S.D. Short J.W, Esler, D. Bodkin, J.L. Ballachey, B.E., Irons, .B (2003). LongTerm Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill. *Science* 302: 5653, pp. 2082 – 2086.
- Phillips S. W. (2005). *Química conceptos y aplicaciones*. Mc Graw Hill Interamericana Editores, S A de C V. México .pp. 125-168.
- Zavala C.J., F. Gavi, R.H. Adams, R. Ferrera, D. Palma, H. Vaquera y J.M. Domínguez. (2005). Derrames de Petróleo en Suelos y Adaptación de Pastos Tropicales en el Activo Cinco Presidentes, Tabasco. *Terra Latinoamericana*. 23: 293-302.

PROCESOS DE ELIMINACIÓN DE Cr (VI) EN MUESTRAS AMBIENTALES

Jorge Javier Ramírez García
Arturo Colín Cruz

INTRODUCCIÓN

Entre los metales pesados más peligrosos, se encuentra el Cr(VI), por su alta toxicidad (ATSDR, 2000), de tal modo que ha sido clasificado por la USA Environmental Protection Agency (EPA) como una de las veinte sustancias químicas más peligrosas para la salud humana. Es utilizado como materia prima principal en los procesos del cemento, colorantes, curtidurías, galvanoplastia, material fotográfico, material refractario, metalurgia, pinturas, por lo que los efluentes generados de estas operaciones contienen altas concentraciones de dicho metal contaminante, en lo que respecta al ámbito ambiental.

En México existen cerca de 600 industrias dedicadas al ramo de la galvanoplastia que generan, entre otros residuos, aguas residuales con altas concentraciones de cromo hexavalente Cr(VI), compuesto altamente tóxico. Las aguas residuales de esta industria, en la mayoría de los casos son desechadas al drenaje municipal sin tratamiento alguno. En algunos casos, se les aplican solo tratamientos de neutralización y en muy pocos casos se tratan mediante tratamientos convencionales como por ejemplo: sulfato ferroso, bisulfito de sodio y evaporación, los cuales generan grandes cantidades de lodos, considerados como residuos peligrosos, además de lo costoso de su tratamiento (Martínez *et al.*, 2004).

Química Central de México (industria que desarrolla y comercializa derivados de cromo y especialidades para la industria curtidora) genera tanto líquidos con alto contenido de cromo hexavalente, como el residuo sólido denominado alúmina que contiene Cr(VI).

Con el fin de eliminar el Cr(VI) del ambiente, se han desarrollado diversas investigaciones enfocadas en la remoción, biorremediación y/o reducción del Cr(VI) por diversos agentes, tanto biológicos como químicos. Las técnicas de adsorción y bioadsorción reportadas tienen la desventaja de que estos adsorbentes siguen conteniendo Cr(VI), si el manejo de estos residuos no es adecuado se corre el riesgo de que el Cr(VI) pueda volver al ambiente.

En cuanto a la reducción del Cr(VI) a Cr(III) las técnicas hasta ahora estudiadas requieren temperaturas controladas, generar un ambiente ácido y en algunas ocasiones contar con luz para que se lleve a cabo la reacción.

Con base en lo anterior el objetivo de esta investigación es presentar algunos de los trabajos realizados para remover o eliminar al Cr(VI) del ambiente y mostrar que la reducción, empleando como agente reductor al ácido ascórbico, es un método factible en cuanto al rendimiento y que no genera más desechos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología.

La toxicidad del Cr(VI) ha justificado numerosos trabajos relacionados con su eliminación del medio ambiente, se han investigado diversas formas de retirarlo del ambiente entre las que se encuentran la biorremediación por diversas masas celulares ya sea de levaduras o bacterias (Carro Navarro *et al.*, 1995; Otiniano, *et al.*, 2007; Acosta *et al.*, 2008). También existen trabajos que pretenden absorber el Cr(VI) por plantas vivas o materiales derivados de ellas (Gardea-Torresdey, *et al.* 2004; Gupta y Babu, 2006; Popuri *et al.*, 2007; Devaprasath *et al.*, 2007). Se han realizado pruebas de reducción de Cr(VI) por medio de Fe(II) (Batchelor, *et al.*, 1998; Tzou, *et al.*, 2003), azúcar (Wang *et al.*, 1999; Tseng y Bielefeldt, 2002; Vanbroekhoven *et al.*, 2007), por masa fungica (Donati *et al.*, 2003), y cítricos con los que se ha observado una alta tasa de reducción de Cr(VI) a Cr(III) en tiempos cortos y sin limitaciones de pH o temperatura (Macario *et al.*, 2008). Se ha evaluado también la reducción de Cr(VI) por vitamina C en solución (Xu *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2005), la cual ha dado excelentes resultados con la ventaja de que no se generan desechos sólidos que después tengan que disponerse por algún otro método, sino que el producto de reacción de la reducción puede ser eliminado por microorganismos.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se han reportado estudios de bioadsorción con diversos materiales Gardea-Torresdey *et al.*, (2004), estudiaron la reducción de riesgos a la salud del Cr(VI) usando Mesquite, el cual demostró ser capaz de concentrar suficiente cromo en los tejidos de sus hojas para así ser considerado como un hiperacumulador desértico de cromo. Adicionalmente esta planta absorbe Cr(VI) y lo convierte al menos tóxico Cr(III).

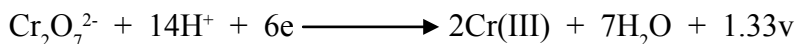
En la India en 2006, Gupta y Babu probaron un adsorbente de bajo costo preparado a partir de semillas de Tamarindo, el cual resultó ser adecuado para la remoción de Cr(VI) en solución acuosa. Mostró una capacidad máxima de adsorción a 11.08 mg/g y pH 7 y en un intervalo de pH 1-3. En 2007, Popuri *et al.*, examinaron la remoción por cáscaras de tamarindo sin tratamiento y tratadas con ácido clorhídrico y ácido oxálico; se obtuvo una excelente remoción de Cr(VI), la capacidad máxima de remoción fue de 74.62 mg/g, 140.84 mg/g y 151.51 mg/g respectivamente. Los mejores resultados se obtienen a pH 3. Señalan también que al incrementarse la cantidad de adsorbente aumenta la remoción de Cr(VI). Devaprasath, *et al.*, 2007 experimentaron la remoción de Cr(VI) en solución acuosa por material natural de plantas (*Prosopis spicegera*), observaron que la máxima remoción se realizó a pH 2. Se observó una cinética de primer orden. Además se ha evaluado la bioadsorción por microorganismos, por ejemplo en 2005, Carro Navarro *et al.*, evaluaron la remoción de Cr(VI) por la biomasa celular de la levadura capsulada *Cryptococcus neoformans*, reportando, alta eficiencia en captación de Cr(VI), con un pH óptimo de 2.0 (95 % de bioadsorción), a medida que se aumenta la concentración del metal disminuye la capacidad de captación del mismo por la biomasa celular.

Otiniano *et al.*, en 2007 realizaron un estudio de bioremediación de cromo(VI) de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas sp.* y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*. *Pseudomonas sp.* no lleva a cabo una remoción significativa de Cr(VI), sólo reduce 13.51 % con una velocidad de reacción de 4.16×10^{-4} ppm/h, mientras el cromo total alcanza una remoción considerable a las 24 horas con una velocidad de 89.166 ppm/h, que es el tiempo donde la población bacteriana alcanza su fase logarítmica, después de 24 horas no se observa remoción de cromo total en forma apreciable. Se produce daño celular sobre *Allium cepa* a todas las concentraciones. Por lo que no se alcanza un nivel

de reducción suficiente para evitar daño celular y para ser aceptable según las normas de saneamiento de aguas residuales.

Acosta *et al.*, (2008), valoraron la remoción de Cr(VI) en solución acuosa por la biomasa celular de *Paecilomyces sp.* hallando que: la mayor bioadsorción fue a pH 1.0 +/- 0.2, a 50 °C durante 16 horas con 7.2 mg/200 mL de concentración inicial de Cr(VI) y 80 mg/200 mL de biomasa celular. Un gramo de biomasa celular fúngica remueve 100 mg/200 mL del metal a las tres horas de incubación. Las técnicas descritas de adsorción dejan un aspecto importante sin contestar, cual es el destino del material que ha adsorbido el Cr(VI), es decir, de qué manera se dispondrán estos materiales, se llevaran a confinamiento ó se incinerarán ambas opciones podrían dar lugar a que parte del Cr(VI) adsorbido regrese al medio ambiente y persista la contaminación. Otra de las constantes de estas técnicas es que se requiere por lo general un pH por debajo de 3 preferentemente en el rango de 1-2, lo que significa que debemos adicionar otro agente para acidificar el medio y se lleve a cabo la bioadsorción.

Ahora bien existen estudios de reducción del Cr(VI) a Cr(II) en base a que los procesos biogeoquímicos afectan a la forma atómica del metal y, por tanto, a su solubilidad, movilidad, biodisponibilidad y toxicidad. Como regla general, cuanto menos soluble sea una especie, menos móvil y menos tóxica es. Por tanto, la transformación de especies solubles en formas difícilmente solubles, bien *in situ* o en terraplenes tras excavación, puede disminuir el impacto de los metales pesados peligrosos sobre los organismos vivos y su medio ambiente. La relación entre los estados hexavalente y trivalente del cromo se describe por la ecuación:



La diferencia del potencial eléctrico entre los dos estados refleja las fuertes propiedades oxidantes del Cr(VI) y la substancial energía necesaria para oxidar la forma trivalente a la hexavalente. Por razones prácticas, se establece que esta oxidación nunca ocurre en sistemas biológicos.

En cuanto a la reducción del Cr(VI) soluble y móvil a Cr(III) insoluble e inmóvil se han estudiado diversos agentes.

Batchelor *et al.*, en 1998, reporta resultados de la cinética de la reducción de

Cr(VI) por ion ferroso, los resultados indicaron que el Cr(VI) es rápidamente reducido por Fe(II) en solución. El modelo que se desarrollo describe la remoción de cromo como resultado de 3 tipos de reacción de Cr(VI) con hierro, reacción instantánea, reacción rápida y reacción lenta y que dependen de la presencia de sólidos presentes en el acuífero. Sin embargo la forma en la que ocurre es más compleja que la que describe el modelo, el cual permite predecir la cantidad de Fe(II) necesario para reducir una cantidad dada de Cr(VI) *in situ*.

La reacción de residuos de Cr(VI) con azúcar fue evaluada en 1999 por Wang y colaboradores, se reportó que a pH <1.0, la reacción es de primer orden con respecto a la concentración de Cr(VI) en presencia de un exceso de azúcar. El pH, temperatura y concentración de azúcar modifican la velocidad de reacción. En 2002, Tokunaga, *et al.*, analizaron la reducción *in situ* de Cr(VI) en suelos altamente contaminados a través de fuentes de carbono orgánico, observándose una cinética de primer orden con constantes de velocidad en el rango de 1.4×10^{-8} a $1.5 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$, con valores altos obtenidos a niveles inicialmente bajos de Cr(VI) y altos niveles de carbono orgánico. Se observa también un efecto sinérgico entre la población microbiana y el carbono orgánico para llevar a cabo la reducción del cromo siendo la reducción microbiana la ruta predominante.

En 2002, Tzou, *et al.*, en un estudio de la reducción de Cr(VI) por compuestos orgánicos y minerales del suelo catalizada por luz, encontraron que, el pH de la solución modifica las velocidades de reducción siendo más rápida en condiciones ácidas. Se favorece la reacción por luz y adición de Fe(III) acidificado. Este estudio también mostró que partículas del suelo como TiO_2 pueden catalizar la reducción de Cr(VI) a pH <7.3 bajo luz de laboratorio. La esmectita y ferrihidrita pueden catalizar a pH bajos y cuando hay disponibilidad de luz de cámara de crecimiento. Sin luz estos minerales actúan solamente como adsorbentes.

En 2002, Tseng y colaboradores evaluaron la biotransformación a bajas temperaturas de Cr(VI) en suelo con varios aceptores de electrones. La biotransformación de Cr(VI) ocurre tanto en ausencia como en presencia de aceptores de electrones. Las condiciones óptimas son anaeróbicas a bajas concentraciones de Cr(VI) y aeróbicas a altas concentraciones. El factor crítico limitante es la disponibilidad de carbono, el azúcar puede ser una fuente adecuada de carbono. Se observó también que el nitrógeno parece favorecer la transformación del Cr(VI).

Donati, *et al.*, en 2003, analizaron la reducción de Cr(VI) por acción indirecta de *Thiobacillus thioparus*, reportando: una reducción cercana al 100 % con tres soluciones de diferente pH, analizadas al final del crecimiento bacterial. La máxima reducción se determinó a pH 6.0 la capacidad de *T. thioparus* es más alto que *T. thiooxidans* y *T. ferrooxidans*.

En 2004, Altundongan y colaboradores realizaron un estudio de la reducción de cromo hexavalente en soluciones acuosas por vinaza. El Cr(VI) fue casi completamente reducido a los 270 min a las concentraciones de Cr(VI) y vinaza de 80 mg/L y 200 mL/L respectivamente a pH de 3.0 a 25 °C. Se puede reducir el tiempo aumentando la acidez y la concentración de vinaza ó reduciendo la concentración inicial de Cr(VI). Esta reacción presenta una cinética de primer orden. El efluente generado requiere un tratamiento posterior para reducir la contaminación orgánica.

Khan *et al.*, en 2006, estudiaron la reducción de Cr(VI) por ácido fosforoso, en la que observaron que la velocidad de reacción incrementa cuando incrementan las concentraciones de HClO_4 y H_2SO_4 . Una ley de velocidad basada en la formación de un ester presidiendo la transferencia del electrón provee un posible mecanismo de reacción. El mecanismo y la velocidad de reacción son consistentes con la cinética observada.

La estimulación *in situ* de bioprecipitación para remoción de Cr(VI) en aguas residuales contaminadas fue evaluada en 2007 por Vanbroekhoven y colaboradores. Se observó que existe una atenuación natural de Cr(VI) pero esta es insuficiente. Las pruebas realizadas con melaza, protamilaza y lactato inducen el proceso de bioprecipitación con diferentes cinéticas siendo más viable y específica la adición de lactato. El cromo total y Cr(VI) fueron removidos, el pH se incrementó lentamente, se pudo determinar algo de metano, decremento redox, se observó un incremento de conductividad seguido de un decremento (Vanbroekhoven *et al.*, 2007).

En 2008, Macario *et al.*, realizaron la reducción de Cr(VI) por medio de cítricos. Se observó que el jugo de naranja y el jugo de limón son buenos agentes reductores, para llevar a cabo la reducción al 100 % se requirió 0.5 mL y 1 mL respectivamente. La reacción que se lleva a cabo es espontánea.

La reducción con agentes como Fe, FeS, podría causar una segunda contaminación al igual que la presentada por las técnicas de adsorción que requieren la correcta disposición del material adsorbente que contiene el Cr(VI), lo que no sucede con la remediación por ácido ascórbico.

Reducción con ácido ascórbico.

El ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) tiene un peso molecular de 176,13 Da, es hidrosoluble y posee propiedades ácidas y fuertemente reductoras. Tales propiedades se deben a su estructura enediol (Figura 1) y a la posibilidad de ionizar el hidroxilo situado sobre el carbono 3, formando un anión que queda estabilizado por resonancia. Eventualmente, puede disociarse el hidroxilo del carbono 2, formando un dianión, aunque no adquiere la misma estabilidad que la del carbono 3. La forma natural de la vitamina es el isómero L que posee propiedades nutricionales; el isómero óptico del carbono 4 D- tiene alrededor de 10% de la actividad del isómero L- pero sin fines vitamínicos, al igual que el isómero óptico del carbono 5, el ácido iso-ascórbico (Jesse, 2000).

El enantiómero L (levógiro) del ácido ascórbico también se conoce como vitamina C (el nombre *ascórbico* procede de su propiedad de prevenir y curar el escorbuto).

El ácido ascórbico es particularmente sensible a las reacciones de oxidación, destruyéndose con gran facilidad durante el procesado de los alimentos en presencia de oxígeno. La oxidación es dependiente del pH, ya que la forma ionizada es más sensible que la forma no ionizada. El dianión es todavía más sensible, pero para que se forme en proporciones significativas es necesario un pH alcalino que no suele encontrarse en los alimentos.

Inicialmente en la oxidación pasa de ascorbato a dehidroascorbato, en una reacción que es reversible, por lo que el dehidroascorbato mantiene en principio el valor como vitamina C. Sin embargo, la lactona correspondiente al dehidroascorbato es mucho menos estable que la del ascorbato, por lo que se hidroliza con gran facilidad para producir ácido 2,3-dicetogulónico, que posteriormente puede degradarse por descarboxilación. Ni el ácido 2,3-dicetogulónico ni sus productos de degradación tienen ya actividad como vitamina C.

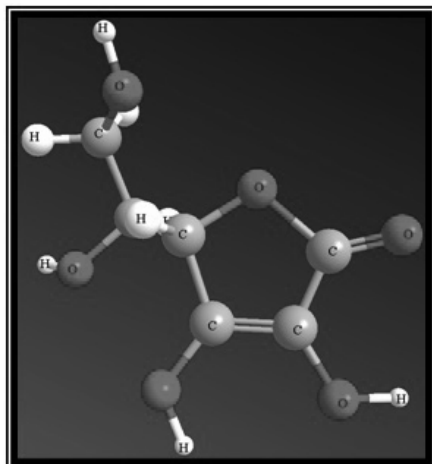
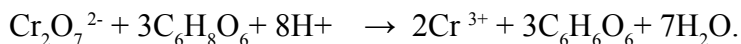


Figura 1. Representación de la estructura química del ácido ascórbico.

También se produce la oxidación del ácido ascórbico de forma química, sin la intervención de enzimas, especialmente en presencia de metales como el hierro o el cobre, que actúan como catalizadores. El cobre es alrededor de 80 veces más potente que el hierro. En ausencia total de metales, el ácido ascórbico es relativamente estable, incluso en presencia de oxígeno. Los agentes quelantes son relativamente efectivos frente al cobre, pero no frente al hierro.

Yong Liu, *et al.*, 2005, realizaron un estudio de la remediación de Cr(VI) como dicromato de potasio en solución usando vitamina C, reportando que la eficiencia de la reacción se ve afectada por la concentración de vitamina C y la temperatura y muy levemente por la concentración de oxígeno. Los resultados que muestran la desaparición del Cr(VI) a los 5 minutos satisfacen una cinética de pseudo-primer orden. La vitamina C es oxidada a ácido dehidroascorbico que puede ser degradado por microorganismos presentes en aguas residuales o suelo. La estequiometría de la reacción de Cr(VI) y vitamina C es 2:3.



En 2005, Xiang-Rong, *et al.*, reportaron los siguientes resultados de la cinética de la reducción de Cr(VI) por vitamina C: las ventajas que ofrece la vitamina C como reductor es que no es tóxico, puede reducir Cr(VI) tanto en soluciones ácidas como alcalinas (pH 9), la reducción ocurre con irradiación y en la

oscuridad. Se describe la cinética de reducción como $d[\text{Cr(VI)}]/dt = 0.0156 \text{ (mM s}^{-1}) * [\text{Cr(VI)}] * [\text{vitamina C}]$ (pH 5), entropía de 42.4 kJ mol⁻¹, entalpía de -71.0 J mol⁻¹ K⁻¹ y energía de activación a 298 K de 63.5 kJ mol.

Con base a lo anterior, el ácido ascórbico, es un importante reductor, no tóxico y cuyos productos de reacción (como el ácido dehidroascórbico) pueden ser degradados por microorganismos presentes en aguas residuales o suelos puede considerarse como una excelente opción para la remediación de aguas y suelos contaminados con metales pesados como el Cr(VI).

Es importante hacer notar que la reducción de Cr(VI) por ácido ascórbico no se ha realizado en muestras reales ya que los estudios anteriores se han llevado a cabo en muestras sintéticas preparadas a partir de dicromato de potasio y sin tener en cuenta la posible interferencia de otras especies presentes en la matriz de una muestra real.

Galeana en 2011, realizó la evaluación de la reducción del Cr(VI) a Cr(III) por ácido ascórbico en un suelo contaminado con cromo. Las muestras en estudio las obtuvieron de un relleno industrial ubicado dentro de las instalaciones de la empresa Química Central de México (QC), productora de sales de cromo, localizada en el área de Buenavista en León Guanajuato, México. Realizaron la reducción de Cr(VI) en muestras de suelo contaminado en función de la concentración del Cr(VI), evaluando el efecto del pH y la temperatura. Demostró que para que se realice la reducción de Cr(VI) a Cr(III) por ácido ascórbico en porcentajes mayores al 98% en el suelo, se requieren temperaturas mayores a 20°C, y valores de pH en el intervalo de 2 a 9. Con base en los análisis de Difracción de Rayos-X (DRX), Espectroscopia Fotoelectrónica de rayos-X (EFX), y Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (CLAR). Comprobó que el ácido ascórbico reduce al 100% el Cr(VI) estando únicamente presentes en el suelo tratadas especies correspondientes a Cr(III). A partir de la información obtenida, afirma que la reducción del Cr(VI) en el suelo por ácido ascórbico es una opción viable para llevar a cabo la remediación del relleno industrial perteneciente a la industria QC.

En estudios de biorremediación de suelos contaminados por Cr(VI) se observa que la reducción del Cr(VI) por microorganismos, sólo es posible cuando la concentración de Cr(VI) es baja, pero en el caso de suelos altamente contaminados

(> 4000 mg/kg), la reducción se ve inhibida, posiblemente porque la cantidad de cromo sea tóxica para los microorganismos y genere una baja población (Tseng y Bielefeldt, 2002; Tokunaga et al., 2003).

Olmos (1995) realizó un proceso de extracción de Cr(VI) de la muestra de suelo contaminado con agua destilada, este proceso presenta dos desventajas: la primera, que el volumen de agua para realizar la extracción al 100% es alto (5 g/ 250 mL); y la segunda, que el Cr(VI) sigue estando presente en la solución obtenida. Con el método descrito en esta investigación se obtiene el 100% de reducción del Cr(VI) a Cr(III) con un volumen mínimo de agua (15 g/ 6 mL). La reducción de Cr(VI) por ácido ascórbico podría ser un importante proceso de remediación, ya que elimina el tóxico Cr(VI) dejándolo como Cr(III) el cual es menos móvil, menos soluble y menos tóxico. Además, se requiere una substancial cantidad de energía (1.33 v) para oxidar la forma trivalente a la hexavalente (OMS, 1988). Los posibles mecanismos para la oxidación de Cr(III) a Cr(VI) parecen estar limitados a la oxidación por el oxígeno o por los óxidos de manganeso. Sin embargo, estudios encontraron que el oxígeno no reacciona apreciablemente con Cr(III) (Eary & Rai, 1987) y aunque el Cr(III) es termodinámicamente inestable con respecto a la oxidación por oxígeno en el intervalo de pH 5.5-7.4, la cinética lenta de esta reacción limita la producción de Cr(VI). Bartlett y James (1979), observaron que el Cr(III) no se oxida en un suelo seco, pero sí en suelos que se mantienen húmedos en presencia de óxidos de manganeso. El secado de los suelos altera la superficie de los óxidos de manganeso mediante la reducción del manganeso y la disminución de su capacidad de oxidar el Cr(III). Eary y Rai (1987), determinaron que la velocidad y la cantidad de Cr(III) oxidado por β -MnO₂ (pirolusita) aumenta al disminuir el pH y al incrementar la proporción del área superficial con respecto al volumen de la solución. En estas mismas pruebas, se observó que el oxígeno no cataliza la reacción entre el β -MnO₂ y Cr(III). La estequiometría de la oxidación de Cr(III) por β -MnO₂ es compleja, y el mecanismo exacto de reacción no se conoce.

Sin embargo, se debe tener cuidado en la disposición de los lixiviados del suelo tratado por esta técnica, ya que se ha observado que el contacto de Cr(OH)_{3(s)} con NaOCl (oxidante fuerte) a pH alcalino, da como resultado una rápida disolución del sólido debido a la oxidación del Cr(III) a Cr(VI). El hipoclorito es un desinfectante común en el tratamiento del agua potable, si agua cruda que contenga Cr(OH)_{3(s)} en forma coloidal es introducida al tren de tratamiento, la

desinfección podría resultar en acumulación de Cr(VI) en el agua tratada.

CONCLUSIONES

Este trabajo muestra una serie de investigaciones realizadas para la eliminación de Cr(VI) en el ambiente. Además, presenta con base a la literatura, una alternativa de tratamiento para la eliminación de riesgos relacionados con la presencia de Cr(VI) mediante la reducción por ácido ascórbico del Cr(VI) a Cr(III), menos tóxico y móvil.

Con base en las revisiones bibliográficas se generan las siguientes conclusiones: La biorremediación de suelos contaminados por Cr(VI) se observa que la reducción del Cr(VI) por microorganismos, sólo es posible cuando la concentración de Cr(VI) es baja.

La sorción del Cr(VI) por diversos materiales, elimina el problema en aguas contaminadas. El problema que se genera es que tratamiento o confinamiento se le dará a este material.

La reducción se ha realizado con Fe como agente reductor, la desventaja que presenta es que muchas ocasiones necesita un agente catalizador el cual se genera como desecho y también se tiene que llevar a cabo a pH aproximadamente de 2, generando aguas ácidas.

El ácido ascórbico reduce al 100% el Cr(VI) presente en suelo contaminado, estando únicamente presentes en el suelo tratado especies correspondientes a Cr(III) como lo identificó Galeana, en los análisis DRX, EFX y CLAR.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta I., Cárdenas J. F., Álvarado Hernández D. et al. Remoción de Cromo(VI) en Solución Acuosa por la Biomasa Celular de *Paecilomyces sp.* 2008. Inf. tecnol. Vol.19, no.1, p.69-74. ISSN 0718-0764.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 2000. Toxicológica del Cromo (en inglés). Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Servicio de Salud Pública. <http://www.atsdr.cdc.gov/es>.

- Altundogan, H.S., Özer, A.F., & Tümen, F. 2004. A study on the reduction of hexavalent chromium in aqueous solutions by vinasse. *Environmental technology*, 25(11), 1257-1263.
- Bartlett, R., and James, B. 1979. Behavior of chromium in soils: III. Oxidation. *Journal of Environmental Quality*, 8(1), 31-35.
- Batchelor B., Schlautman M., Hwang I., Wang R.. Kinetics of chromium(VI) reduction by ferrous ion. Texas A&M University. 1998. ANRCP-1998-13.
- Carro Navarro B., Moctezuma M. de G., Acosta I. Remoción de cromo(VI) por la biomasa celular de la levadura capsulada *Cryptococcus neoformans*. Centro de Investigación y de Estudios de Posgrado, Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 1995 Editorial Universitaria Potosina. pp 179-182.
- Devaprasath PM, Solomon JS and Thomas BV. Removal of Cr(VI) from aqueous solution using natural plant material. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*. 2007. Vol. 2, number 3: 77-83. ISSN 0126-2807.
- Donati E.; Oliver C.; Curutchet G. Reduction of chromium(VI) by the indirect action of *Thiobacillus thioparus*. 2003. *Braz. J. Chem. Eng.* vol.20 no.1 doi: 10.1590/S0104-66322003000100013 ISSN 0104-6632
- Eary, L. E., and Rai, D. 1987. Kinetics of chromium(III) oxidation to chromium(VI) by reaction with manganese dioxides. *Environmental Science and Technology*, 21(12), 1187-1193.
- Galeana Corrales L.A. 2011. Evaluación de la reducción de cromo(VI) a cromo(III) por ácido ascórbico en muestras de suelo contaminado. Tesis de Maestría en Ciencias Químicas. Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gardea-Torresdey J.L., Aldrich M. V., Peralta-Videa J.R., Parsons J.G. Reduction of health risks due to chromium(VI) using mesquite a potential Cr Phytoremediator. 2004. Proceedings of the 227th American Chemical Society Meeting, 28 March - 1 April 2004, Anaheim, California. pp 461-466.

- Gupta, S., Babu, B.V.: Adsorption of chromium(VI) by a low-cost adsorbent prepared from tamarind seeds. 2006. In: Proceedings of International Symposium & 59th Annual Session of IChE in association with International Partners (CHEMCON-2006), GNFC Complex, Bharuch, December 27–30.
- Jesse, F. G. (2000). *III. Vitaminas*. En: Fennema OR, editor. Química de los alimentos. 2º. ed. Zaragoza (España): ACRIBIA.
- Khan, Z., Hashmi, A. A., & Din, K. (1998). Reduction of chromium(VI) by phosponic acid. *Transition Metal Chemistry*, 23(2), 147-150.
- Liu, Y., Xu, X.-H., & He, P. (2005). Remediation of Cr(VI) in solution using vitamin C. *Journal of Zhejiang University Science*. 6B(6): 540-542
- Macario Cardoso, M., Sánchez López, N.A., Campos Armas, L., Sánchez Hernández, F., & Ramírez García, J.J. (2008) Reducción de Cromo VI por medio de Cítricos. Memorias del XXII Congreso Nacional de Química Analítica, Mérida, Yucatán.
- Martínez Sergio A., Rodríguez Miriam G. 2004. Reactores Electroquímicos para Remover Cromo Hexavalente de Aguas Residuales de la Industria de Galvanoplastia. Vol. 4. No. 2. pp: 6-8
- Olmos Salinas M.G. (2005). *Remoción de cromo de un relleno industrial*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Otiniano M.; Tuesta L.; Robles H.; Luján M. y Chávez M. Biorremediación de cromo(VI) de aguas residuales de curtiembres por *Pseudomonas* sp y su efecto sobre el ciclo celular de *Allium cepa*. 2007. Rev. Med. Vallejana. Vol. 4 N° 1 pp 32-42
- Popuri, S.R.; Jammala A.; Reddy K.V.N.S. and Abburi K. Biosorption of hexavalent chromium using Tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study. *Electronic Journal of Biotechnology* [online]. 15 July 2007. vol. 10, no. 3 [cited date]. Available from Internet: <http://www.ejbiotechnology.info/content/vol10/issue3/full/11/index.html>. ISSN 0717-3458.
- Tokunaga, T.K., Wam, J., *et al.* 2003. *In situ* reduction of chromium(VI) in heavily contaminated soils through organic carbon amendment. *Journal of Environmental Quality*, 32(5), 1641-1649.

- Tseng J.K., Bielefeldt A.R. Low-temperature chromium(VI) biotransformation in soil with varying electron acceptors. *J Environ Qual* 2002. 31:1831-1841.
- Tzou Y.M., Loeppert R.H., Wang M.K. "Light-Catalyzed Chromium(VI) reduction by organic compounds and soil minerals" *J. Environ. Qual.* 2003. 32: 2076-2084.
- Vanbroekhoven K., Vermoortel Y., Diels L. and Gemoets J.. Simulation of in situ bioprecipitation for the removal of hexavalent chromium from contaminated ground water. IMWA Symposium 2007, Water in Mining Environments. May 2007. Cagliari, Italy.
- Wang C, Martin DF, Martin BB. Reaction of Chromium(VI) Wastes with Sugars. 1999. Florida Scientist: Vol. 62, No. 1 pp. 48-57
- Xu Xiang Rong, Li Hua Bin, Gu Ji Dong and Li Xiao-Yan. "Kinetics of the reduction of chromium(VI) by vitamin C" *ETOC DK*. 2005, vol. 24 N° 6, pp. 1310-1314. ISSN 0730-7268
- Xu, X. R., Li H.B., Li X.Y. & Gu J.D. 2004. Reduction of hexavalent chromium by ascorbic acid in aqueous solutions. *Chemosphere*, 57, 609-613.

EFFECTOS EN LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DE PLÁNTULAS DE MANGLAR DESPUÉS DE UN VERTIDO DE PETRÓLEO

**Requena Pavón G.C.
Agraz Hernández C.M.
Vazquez Botello A.
Osti Saéñz, J.
Reyes Castellanos J.E.
Chan Keb C.
García Zaragoza C.
Chan Canul E.**

INTRODUCCIÓN

En el caso de los ecosistemas de manglar de México a pesar de que se ubica en el cuarto lugar en extensión a nivel mundial (Conabio, 2009); se tienen registrado a lo largo del litoral mexicano, altas tasas de deforestación. Estableciéndose la mayor pérdida en el litoral del Golfo de México, con 12.7 % durante el periodo de 1966 a 1991, en comparación con el litoral del Pacífico, que presentó 9.3% (Tovilla, 1994). Siendo relevante enfatizar que a nivel estatal la mayor pérdida de cobertura de mangle dentro del litoral del Golfo de México, se detectó en Campeche, con 29% (Tovilla, 1994). Autores como Agraz–Hernández *et al.*, (2007) atribuye estas pérdidas a la construcción de plantas termoeléctricas, el crecimiento de asentamientos humanos, incremento en las descargas de aguas urbanas, agrícolas y ganaderas, construcción de carreteras y actividad petrolera. Los impactos ocasionados por los derrames de petróleo en la línea de costa, han ocasionado la pérdida de la cobertura de mangle (Duke, 1999). Autores como Kleskowski *et al.*, (1994) menciona que los ecosistemas de manglar están expuestos continuamente a la contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos. Estableciéndose un riesgo para la conservación de estos ecosistemas, debido a que se le atribuye una alta productividad y abundante detritus orgánico; lo cual lo convierten en un ecosistema altamente susceptible a la acumulación de los compuestos del petróleo (Suprayogi y Murray, (1999) y Zhang *et al.*,(2004)). Por su parte, Davies (1980), Lewis (1983) y Snedaker

(1984) han registrado un efecto negativo al derrame del petróleo crudo a corto plazo, distinguiéndose daños en la estructura de los ecosistemas, hasta provocar la muerte. De igual forma, Lugo (1980), Ponte (1990) y Draper y Smith (1981), han detectado una disminución en los atributos forestales (densidad, área basal y altura), así como un aumento en el área foliar. Además de presentar efectos negativos en la fisiología de los árboles de mangle, como la defoliación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se contruyeron dos humedales artificiales en un vivero con temperatura ambiental y salinidad controladas de (23 °C ±25 y de 22 a 24 ups respectivamente). Los estanques experimentales para el derrame de petróleo crudo y testigo fueron de 4.52 m de largo x 0.46 de ancho y 0.86 de altura. Para ambos estanques se elaboró un filtro biológico con diferentes estratos de material no consolidado; 30 cm para *R. mangle*, 33.7 en *L. racemosa* y 41.9 *A. germinans*. De turba, 9 cm de arena, 9 cm de sello y 9 cm de grava. Por lo cual, cada estanque fue dividido en tres zonas, y simulada la distribución microtopografía por especie. Así mismo, el flujo y el reflujó de la marea fue representada mediante un sistema cerrado (con bomba y un timer), con base a la tabla de marea. En cada sección del estanque se sembraron 40 plántulas por especie y se dio un mes para estabilizar el sistema y acondicionamiento de las plántulas. Las mediciones fisiológicas de las plántulas se realizaron para la biomasa por el método de tipo destructivo y para la determinación de la expansión foliar fue con ayuda de un LCi ADC BioScientific LTD en tres plántulas cada mes, tanto en el testigo como en el estanque de hidrocarburo. Es relevante mencionar que en el estanque designado para simular el derrame de petróleo crudo, fueron vertidos 10 litros en total.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La productividad primaria en los ecosistemas de mangle son muy productivos (Boto, 1992), y para este trabajo fue registrado en términos de producción de hojas, biomasa de tallo y del sistema radicular para los DT y DCPC. Por otra parte, en este estudio se determinó el área foliar en las tres especies de mangle y en los dos dispositivos experimentales Sin embargo, para que esta se pueda realizar depende de diversos factores tales como; el tipo de mangle, las condiciones ambientales, el nivel de inundación y la frecuencia de la marea, la

salinidad, contenido de materia orgánica, así como los nutrientes del suelo (Day *et al.*, (1987); Ceja *et al.*, (1982); Tam y Wong (1997).

La productividad primaria en las plántulas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, registrada por arriba (biomasa fotosintética (hojas) y tallo) y por debajo del sedimento (sistema radicular) en los dispositivos DT y DVPC, no presentaron diferencias significativas durante la fase de “referencia” (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de biomasa en peso seco (p.s.) de tejido fotosintético (hojas), tallo y sistema radicular en plántulas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, durante la fase de “referencia”, en los dispositivos experimentales DT y DVPC (P < 0.05).

Biomasa total en gr (p.s.)	<i>Rhizophora mangle</i>			<i>Laguncularia racemosa</i>			<i>Avicennia germinans</i>		
	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p
Tejido fotosintético	0.00	(1,4)	0.992	0.32	(1,4)	0.603	2.00	(1,4)	0.188
Tallo	0.86	(1,4)	0.374	2.06	(1,4)	0.225	0.84	(1,4)	0.380
Sistema radicular	0.00	(1,4)	0.946	3.07	(1,4)	0.154	0.11	(1,4)	0.751

Esto fue debido las constantes y óptimas condiciones ambientales que se mantuvieron y validadas anteriormente (clima artificial, composición del bio-filtro e intervalos de los parámetros fisicoquímicos en el agua intersticial y sedimento) establecidos durante la fase de referencia aire, suelo y agua intersticial. Asimismo, es importante resaltar que la producción de la biomasa en hojas, tallo y sistema de raíz, en las tres especies de mangle de estas especies, fueron similares a lo citado por Chan (2010) y Gómez (2011), para el caso de las plántulas *Rhizophora mangle* bajo condiciones experimentales, durante la fase de referencia. Para las especies de *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, a la fecha no se tienen registros sobre la producción de biomasa bajo condiciones controladas.

Por otra parte, la producción de la biomasa que se produjo después del vertido

de petróleo crudo, registro en las hojas, tallo y raíz de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, presentaron diferencias significativas (Cuadro 2), reflejando una disminución en la biomasa del tallo y de las hojas.

Cuadro 2. Análisis de varianza de una vía (ANOVA), con dos niveles (DT y DCPC) durante la fase del “vertido de petróleo” en los parámetros biológicos en peso seco (p.s.) constante, en las plántulas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, con un nivel de significancia $\alpha = 0.005$.

Biomasa total en gr (p.s.)	<i>Rhizophora mangle</i>			<i>Laguncularia racemosa</i>			<i>Avicennia germinans</i>		
	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p
Tejido fotosintético	0.00	(1,4)	0.992	0.32	(1,4)	0.603	2.00	(1,4)	0.188
Tallo	0.86	(1,4)	0.374	2.06	(1,4)	0.225	0.84	(1,4)	0.380
Sistema radicular	0.00	(1,4)	0.946	3.07	(1,4)	0.154	0.11	(1,4)	0.751

De igual manera se ve afectada el área foliar, ya que se produce una defoliación y marchitamiento de hojas. Rogers *et al.*, (1991), indican que productividad primaria y el sistema de raíz se ven afectados por el petróleo crudo, al actuar como trampas en los sedimentos y reducir la velocidad del flujo del agua. Asimismo, Hochachka & Somero (1973); DeLaune *et al.*, (1983, 1984); Burdick y Mendelssohn (1987); DeLaune y Pezeshki (1991); señalan que los cambios que se producen en la disponibilidad del oxígeno del sedimento, afectan la productividad primaria; ya que inhiben el crecimiento de la raíz, cambiando con ello, su metabolismo y reflejado el efecto del petróleo sobre la supervivencia y capacidad competitiva de las plantas.

La producción en términos de área foliar, no presenta diferencias significativas en ambos dispositivos experimentales (DT y DVPC) en las plántulas de *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*; por el contrario, para las plántulas de *Laguncularia racemosa* (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza con dos niveles (DT y DVPC), para la fase de “referencia”, con respecto al tamaño de las hojas (en el área foliar, ancho, largo y perímetro) en plántulas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, bajo condiciones experimentales ($P < 0.05$).

Expansión Foliar cm^2	<i>Rhizophora mangle</i>			<i>Laguncularia racemosa</i>			<i>Avicennia germinans</i>		
	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p
Área Foliar	2.21	(1,18)	0.154	74.29	(1,34)	0.000	2.46	(1,38)	0.125
Ancho	4.03	(1,18)	0.060	86.49	(1,34)	0.000	0.26	(1,38)	0.615
Largo	1.61	(1,18)	0.221	8.23	(1,34)	0.007	0.29	(1,38)	0.594
Perímetro	0.05	(1,18)	0.820	5.09	(1,34)	0.031	1.62	(1,38)	0.211

Esto indica que durante el desarrollo del experimento en la fase de “referencia”, no se estimuló ni se restringió el crecimiento en las dimensiones de las hojas, debido a que las condiciones ambientales fueron óptimas para las tres especies de mangle. Por otra parte, el comportamiento de las plántulas (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*), con respecto a la morfometría de las hojas (área foliar, ancho y longitud, después de un vertido de petróleo crudo mostraron diferencias significativas (Cuadro 4) en el DCPC, resultado que se atribuye al estrés que fueron sometidas las plántulas y a la falta de asimilación por parte de ellas, además del tipo, de las características y tiempo de residencia del petróleo.

Autores como Rodrigues *et al.*, (1990), observaron altas defoliaciones en plántulas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia schaueriana* al contacto con petróleo en la Costa de Brasil. A largo plazo obtuvieron un efecto en la alteración de la forma y el color de la hoja, además de las perforaciones y la necrosis (> a 6 meses). Con ello, también se registró un aumento del área foliar y una disminución en la herbivoría en las tres especies estudiadas (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia schaueriana*). Del mismo modo, Lugo *et al.*, (1980) y Ponte *et al.*, (1990) mencionan que los manglares son perturbados frecuentemente por derrames de petróleo en donde hay una interrupción del proceso normal de desarrollo, provocando un aumento el área foliar y disminución de la herbivoría en *Rhizophora mangle*, *Laguncularia*

racemosa y *Avicennia schaueriana*.

Cuadro 4. Análisis de variables múltiples (MANOVA), durante la fase del “vertido con petróleo crudo” con respecto al tamaño de las hojas en las plántulas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*. Con un nivel de significancia $\alpha = 0.005$.

Expansión Foliar cm ²		<i>Rhizophora mangle</i>					<i>Laguncularia racemosa</i>					<i>Avicennia germinans</i>				
		Criterio	Test Estadístico	F*	gl núm	gl denom	Valor p	Test Estadístico	F*	gl núm	gl denom	Valor p	Test Estadístico	F*	gl núm	gl denom
Area foliar,	Wilks	0.920	2.31	4	108	0.062	0.873	3.26	4	90	0.015	0.890	6.19	4	202	0.000
Ancho,	Lawley-	0.085	2.31	4	108	0.062	0.145	3.26	4	90	0.015	0.122	6.19	4	202	0.000
Largo,	Hotelling															
Perimetro	Pillar's	0.079	2.31	4	108	0.062	0.126	3.26	4	90	0.015	0.109	6.19	4	202	0.000
		*Los valores de s = 1 m = 1.0 n = 53.0					Los valores de s = 1 m = 1.0 n = 44.0					Los valores de s = 1 m = 1.0 n = 100.0				

CONCLUSIONES

El efecto en la productividad por arriba y por abajo del sedimento con respecto a la biomasa en peso seco constante, registro efectos en la productividad en términos de biomasa de hojas, tallo y bolo de raíz. Esto con mayor intensidad en las plántulas de *Rhizophora mangle* durante los 183 días, al disminuir la producción de biomasa de hojas, tallo y bolo de raíz en un 10%, 13% y 15%, respectivamente. Caso contrario para las plántulas de *Avicennia germinans*, donde presentaron un menor efecto en la productividad por abajo del sedimento (biomasa de raíz). Así como, para las plántulas de *Laguncularia racemosa*, donde no presentó diferencias significativas y similar entre los dispositivos experimentales (DT y DCPC). Por otra parte, el efecto morfológico identificado en las plántulas de manglar fue inverso a la zonificación de las especies (de *Avicennia germinans*, seguido de *Laguncularia racemosa* y finalmente en *Rhizophora mangle*); esto expresado en una menor expansión foliar durante la permanencia del petróleo crudo en el agua intersticial y sedimento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los resultados obtenidos del proyecto: “Lineamientos

básicos para los programas de restauración, manejo sostenido y caracterización de los efectos tóxicos de petróleo en plántulas de manglar” financiado por CONAFOR – CONACYT., a los que se agradece el apoyo en la realización de estos proyectos, así como también la colaboración del Laboratorio de Humedales Costeros con especialidad en manglares en el Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México de la Universidad Autónoma de Campeche.

BIBLIOGRAFÍA

- Agraz Hernández, C. M.; Osti Sáenz, J.; Jiménez Zacarías, J.; García Zaragoza, C.; Arana Lezama, R.; Chan Canul, E.; González Duran, L.; Palomo Rodríguez, A. 2007. *Restauración con manglar: Criterios y técnicas hidrológicas, de reforestación y forestación. 1era. edición.* Universidad Autónoma de Campeche, Comisión Federal de Electricidad, Comisión federal de Electricidad, Comisión Nacional Forestal. ISBN: 968-5722-54-4. 132 pp.
- Boto, K.G.1992. Nutrients and mangroves. In: *Pollution in Tropical Aquatic Systems.* Connel, D. W. and Hawker, D.E. (Eds), CRC Press Inc., Ann Arbor, London, 129-145 pp.
- Burdick, D. M. and I. A. Mendelsohn. 1987. Waterlogging Responses in Dune, Swale and Marsh Population of *Spartina* Patterns Under Field Conditions. *Oecologia*, 74: 321-329.
- Chan Keb, C.A. 2010. “*Efecto de la Salinidad Estuarina Sobre la Remoción de los Nutrientes en Plántulas de Rhizophora mangle bajo Condiciones Experimentales.* Tesis de maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias, Puebla, México. 53 pp.
- CONABIO. 2009. *Manglares de México: Extensión y distribución* 2ª ed. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 99 pp.
- Davies, D.O. 1980. Anaerobic metabolism and production of organic acids. In: *The Biochemistry of Plants: A comprehensive treatise.* Trends Soil Science. Vol. 2. P.K.Stumpf and E.E. Conn (Eds). Academic Press, New York, Us. 581-611 pp.
- Day JW, Conner WH, Ley-Lou F, Day RH & Navarro AM. 1987. The productivity and composition of mangrove forests, Laguna de Términos, Mexico. *Aquatic Botany* 27: 267-284.

- DeLaune, R.D. & S.R. Pezeshki. 1991. Role of Soil Chemistry in Vegetative Ecology of Wetland. *Aqua. Bot.*, **1**: 101-103.
- DeLaune, R. D., C. J. Smith, and M. D. Tolley. 1984. The Effect of Sediment Redox Potential on Nitrogen Uptake, Anaerobic Root Respiration and Growth of *Spartina Alterniflora*. *Aqua. Bot.*, **18**: 223-230.
- DeLaune, R. D., C. J. Smith, and W. H. Patrick, Jr. 1983. Relationship of Marsh Elevation, Redox Potential, and Sulfide to *Spartina Alterniflora* Productivity. *Soil Sci, Soc. American. Journal*, **47**: 930-935.
- Draper N R & Smith H. 1981. *Applied regression analysis*. New York: Wiley. In press.
- Duke, N. C. and K.A. Burns. 1999. *Fate and effects of oil and dispersed oil on mangrove ecosystems in Australia*. Australian Institute of Marine Science and CRC. Research Centre. 17 pp.
- Gómez Ramírez, D. 2011. *Efecto del agua residual urbana en la productividad primaria de las plántulas de Rhizophora mangle, bajo condiciones experimentales*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Campeche, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Campeche, México. 81 pp.
- Hochachka, P. W. and G. N. Somero. 1973. *Strategies of Biochemical Adaptation*. Saunders.
- Klekowski, Jr.; E.J.; Corredor, J.E.; Morell, J.M. and DelCastillo, C.A. 1994. Petroleum pollution and mutation in mangroves. *Marine Pollution Bulletin*. **28**: 166-169.
- Lewis, R.R. 1983. Impact of oil spills on mangrove forests. In: *Biology and ecology of mangroves*. H. J. Teas (ed). Tasks for Vegetation Science **8**. Dr. W. Junk, The Hague: 188 pp.
- Lugo, A.E. 1980. Mangrove ecosystems: sucesional or stady state. *Biotropica*, **12**: 67-72.
- Ponte, A.C.E.; Fonseca, I.A.Z. & Claro, M.C.A. 1990. Produção de serapilheira em bosque impactado por petróleo. In: *Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira*. Síntese dos Conhecimentos, Cananéia, São Paulo: ACIESP, v2, 241-253 pp.

- Rodrigues, F.O.; Moura, D.O. & Lamparelli, C.C. 1999. Environmental impact in mangrove ecosystems Sao Paulo, Brazil. In: *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. A. Yañez-Arancibia y A.L. Lara-Domínguez (eds). Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ ORMA, Costa Rica, NOAA/ NMFS Silver Spring MD, USA. 380 pp.
- Rogers K.H. Breen P.F. y Chick A. J. 1991. Nitrogen removal in experimental wetland treatment systems: evidence for the role of aquatic plants. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*. **63**: 934-941.
- Snedaker, S.C. and Snedaker J.G. 1984. The mangrove ecosystem: *research methods*. In: The mangrove ecosystem research methods (S.C. Snedaker and J.G. Snedaker, eds), UNESCO, Paris. 251pp.
- Suprayogi B. y Murray F. 1999. A field experiment of the physical and chemical effects of two oils on mangroves. *Environ. Exp. Bot.* **42**, 221-229.
- Tam, N.F.Y. and Y.S. Wong. 1997. Variations of Soil Nutrient and Organic Matter Content in a Subtropical Mangrove Ecosystem. *Water, Air, and Soil Pollution*, **103**: 245-261.
- Tovilla, H.C. 1994. Manglares. En: *Lagunas Costeras y el litoral mexicano* De la Lanza espino, G. y Cáceves Martínez, C. (Eds). Universidad Autónoma de Baja California Sur. 371-423 pp.
- Zhang J.; Cai L., Yuan D y Chen M. 2004. Distribution and sources of polynuclear aromatic hydrocarbons in mangrove superficial sediments of Deep Bay, China. *Mar. Pollut. Bull. Vol.* **49**: 479-486.



“LAGUNA DE ZAPOTLÁN”, SITIO RAMSAR 1466. SUBSEDE DE LOS JUEGOS PANAMERICANOS DE REMO Y CANOTAJE “GUADALAJARA 2011”

J. Guadalupe Michel Parra

Ana Lizeth Iñiguez Chávez

José Raúl Jiménez-Botello

INTRODUCCIÓN

Una resolución de la Convención Ramsar en 2005 define que *“El uso racional de los humedales es el mantenimiento de sus características ecológicas, logrado mediante la implementación de enfoques por ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible.”* Leff y Carabias (1993). La Convención Ramsar promueve eliminar prácticas que pueden garantizar que todos los humedales, y sobre todo los designados para ser incluidos en la lista de Ramsar, sigan desempeñando estas funciones y poniendo estos valores al servicio de las generaciones venideras, así como también de la conservación de la diversidad biológica.

A raíz de la problemática y una serie de amenazas que alteraban al medio ambiente en la zona circundante al Lago de Zapotlán se procede a la elaboración de los “Planes Parciales para el Desarrollo Integral de la Zona de la Laguna de Zapotlán”, fundamentada a partir de los preceptos establecidos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y en concordancia con lo estipulado en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y con base en una serie de instrumentos legales de planificación del desarrollo urbano-territorial, debido a la importancia del Lago como recurso natural de valor paisajístico, al mismo tiempo manifestándose la posibilidad de explotación racional del recurso del Lago mediante un plan de Manejo Integral llevando a cabo estrategias ambientales así como acciones preventivas, productivas, de protección y conservación. Todo esto con la finalidad de conocer y comprender la fortaleza del Lago. Cabe mencionar que gracias a las acciones de conservación, manejo y restauración, llevadas a cabo por parte de los Municipios de Zapotlán

el Grande y Gómez Farías y la Universidad de Guadalajara, el Lago de Zapotlán se ha sumado a la lista de Humedales el 05 de junio de 2005. También ha sido reconocido por la “Convención sobre Humedales de Importancia Internacional *Ramsar*”. El siguiente paso es el de proponer el “Plan de acciones para la constitución del área natural protegida lago de de Zapotlán”, dicha constitución de ANP abrirá aún más las opciones de deportes, turismo, economía y actividades culturales y tradicionales como la pesca, y artesanía del tule que le dará la vocación de un área natural sustentable como fue designada en el año 2010.

El deporte de remo y canotaje se ha convertido en un fenómeno social, cultural, económico y de salud pública, cuya importancia e influencia impacta a nivel mundial en la calidad de vida de la población; en el caso de la cuenca y Laguna de Zapotlán no es la excepción. Para la práctica de deportes, se requieren instalaciones especiales, que en la mayoría de las veces, producen huellas con impactos trascendentes sobre los ecosistemas, lo mismo sucede con las constantes transformaciones materiales de ciudades y pueblos donde ocurre esos cambios continuos. El desarrollo de infraestructura deportiva en la laguna de Zapotlán produjo grandes impactos sobre el humedal, donde se llevo a cabo la justa deportiva.

La población y visitantes que confluyen en estas actividades para su realización implican influencias mutuas que trazan esquemas de interrelación cultural. Fue necesario plantear propuestas sustentables que produzcan impulso cualitativo del deporte, especialmente en Ciudad Guzmán y la región sur del estado de Jalisco. Las condicionantes del humedal, en ordenamiento urbano y territorial, han cambiado, también los intereses económicos, sociales y culturales así como las condiciones de estatus del vaso lacustre.

Los juegos panamericanos, se ha convertido en uno de los fenómenos sociales, culturales y de desarrollo económico, cuya importancia e influencia puede beneficiar y/o impactar significativamente al lago de Zapotlán y al territorio del estado de Jalisco (Michel, 2009).

Los XVI juegos panamericanos Guadalajara 2011 convocaron a los atletas de más alto rendimiento que provienen de los países de las Américas en un festival deportivo y de amistad internacional. Los juegos se celebran cada cuatro años en el año que antecede al de los Juegos Olímpicos. Los primeros

Juegos Panamericanos se celebraron en Buenos Aires, Argentina en 1951 pero tuvieron su origen más de dos décadas antes. Durante el Congreso Olímpico que coincidió con la celebración de los Juegos Olímpicos de 1924 en París, Francia, los miembros del Comité Olímpico Internacional de Cuba, Guatemala y México propusieron que se establecieran juegos regionales en los que participarían los países de Centroamérica.

Estos juegos se convirtieron en realidad dos años después cuando la ciudad de México fue anfitriona de los primeros Juegos Centroamericanos y del Caribe. Durante los Juegos Olímpicos de 1932 que se celebraron en Los Ángeles, algunos de los representantes de las delegaciones de Latinoamérica propusieron que se celebraran juegos regionales para el continente Americano. Esta propuesta finalmente logró que se reuniera en Buenos Aires por primera vez el Congreso Deportivo Panamericano en agosto de 1940. El Congreso eligió a la ciudad de Buenos Aires, Argentina como la sede de los primeros Juegos Panamericanos en 1942, pero la segunda guerra mundial obligó la postergación de dichos juegos los cuales no se cumplieron.

Un segundo Congreso Deportivo Panamericano se reunió en Londres durante los Juegos Olímpicos de 1948 y allí resurgieron los planes. Los primeros Juegos Panamericanos se inauguraron en Buenos Aires, Argentina el 25 de febrero de 1951 y participaron más de 2 500 atletas provenientes de 22 países latinoamericanos.

La organización que gobierna los juegos cambió de nombre en 1955 a la Organización Panamericana de Deportes [Pan American Sports Organization (PASO)]. En la actualidad la organización consiste en 42 naciones de: América del Norte, América Central, Sudamérica y el Caribe.

Las lenguas oficiales son el español y el inglés. PASO tiene su sede en la Ciudad de México y la preside Mario Vásquez Raña de México quién ha impulsado fuertemente el deporte y también es miembro del Comité Olímpico Internacional. En 2007 en los XV juegos panamericanos en Rio de Janeiro, Brasil, se nombra a la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, México, como sede en el año 2011 de los XVI juegos panamericanos.

El emblema de PASO consiste de una antorcha sobrepuesta sobre cinco círculos

concéntricos de colores verde, amarillo, blanco, rojo y azul. Por lo menos uno de estos colores aparece en cada bandera nacional de las Américas. El lema de PASO “*América, Espíritu, Sport, Fraternité*” incorpora cuatro de las lenguas de uso más corriente en las Américas: español, portugués, inglés y francés (Moreno J., 2009).

Para la práctica de deportes acuáticos, se requieren instalaciones adecuadas y con características propias para cada disciplina deportiva.

Por lo que fue necesario plantear y generar propuestas sustentables, que permitan producir en el estado de Jalisco un impulso cualitativo del deporte, por parte de los tres niveles de gobierno, especialmente en ciudades medias como el caso de Ciudad Guzmán y San Sebastián del Sur, Tapalpa, Lagos de Moreno y Puerto Vallarta, dada la importancia que estas actividades deportivas pueden desempeñar en el ecosistema, economía, cultura y sociedad.

Las condicionantes del Lago-Laguna de Zapotlán, con respecto a los objetivos generales y particulares establecidos en los juegos panamericanos 2011 y en el ordenamiento urbano, ecológico y territorial, han cambiado, también los intereses económicos, sociales y culturales así como las condiciones de estatus del lago y su entorno.

Para lo cual fue necesario revisar y actualizar los instrumentos de planeación que se emplean para la selección de actividades permitidas en el lago con lo cual se buscó generar el mínimo impacto en el ecosistema del humedal, llevándose a cabo el estudio de impacto ambiental además de una mecánica de suelos y aforo que indique la capacidad de carga máxima del humedal, por lo que esos instrumentos están acogidos a las disposiciones que están establecidas en los reglamentos y normas de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y la Convención Ramsar que se aplica en Humedales de Importancia Internacional. Para ello, se hizo necesaria la aplicación del “Programa de Conservación y Manejo de la laguna de Zapotlán” (PCyM, 2009), que se desarrolló a nivel interinstitucional por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Secretaría del Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable (SEMADDES), Comité Estatal de Protección Ambiental de los Humedales del Estado de Jalisco (CEPAHJ) e instituciones de investigación y educación superior como el Centro Universitario del Sur de la Universidad de Guadalajara y Sociedad organizada.

El objetivo del presente trabajo fue conocer los resultados en la “Laguna de Zapotlán” de la realización de los XVI Juegos Panamericanos Guadalajara 2011 en las disciplinas de remo y canotaje.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo es transversal y descriptivo realizado en la Laguna de Zapotlán ubicada en el sur del Estado de Jalisco entre las porciones territoriales de los municipios de Gómez Farías y Zapotlán el Grande a 124km de Guadalajara, a una altitud de 1,520 msnm (INEGI, 2005). Entre las coordenadas (19°27'13" Norte y 103°27'57" Oeste). Se utilizó criterio de la Comisión de la Organización de los Juegos Panamericanos Jalisco (COPAJ) y el Programa de Conservación y Manejo PCyM del Humedal de importancia internacional “laguna de Zapotlán”, Sitio Ramsar 1466.

La laguna está en la parte más baja de la Cuenca, está limitada al este por las pendientes de la Sierra del Tigre y la carretera estatal Ciudad Guzmán – Gómez Farías; al sur por Ciudad Guzmán; al oeste por la línea del Ferrocarril Guadalajara-Manzanillo y al Norte, por el área agrícola denominada los Cerrillos y la carretera Gómez Farías - la Cofradía. Sus coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) son: X: 660139.98, Y: 2185983.2 y Z: 1499, en la parte occidental de México.

El área de protección de la Laguna de Zapotlán (área del sitio Ramsar) es de 1,497 hectáreas, entre 900 y 1,340 hectáreas pueden estar cubiertas de agua con un volumen máximo de acopio de 27 millones m³, con una profundidad de 1.5 a 4.75 metros, una evaporación media anual de 17.7 millones m³ y una precipitación media anual de 812 milímetros en promedio anual, con una temperatura promedio de 21.9°C (Michel, *et al.*, 2006) y (Michel *et al.*, 2011).

Se utilizaron los criterios, del Plan de Desarrollo Urbano 2020, el Ordenamiento Ecológico y Territorial y el Programa de Conservación y Manejo de la Laguna de Zapotlán, ya que en ellos se establece que cualquier acción que vaya a ser desarrollada en el entorno del humedal, deberá ser sometida a un escrutinio profundo, el cual debe ser realizado por investigadores, usuarios y gobierno en sus tres niveles municipal, estatal y federal, ya que de esta manera se cubren todos los aspectos importantes y relevantes que pueden surgir de las acciones

antropogénicas, las cuales podrían ser en detrimento y/o perjuicio del ecosistema y consecuentemente del humedal, motivo por el cual debe de existir un consenso de todos los actores del humedal, que de esa manera quedan satisfechos con los resultados que puedan producirse, pero sobre todo, están consientes de que han participado en la toma de decisiones y que su punto de vista (siempre bajo la observancia de los reglamentos y normas establecidas) son válidos y provechosos para el humedal. Ya que todo lago desde que nace se está muriendo, y el hombre puede acortar o retardar su existencia en base a las acciones que ahí se desarrollan. (Michel P. J.G. *et al.*, 2012)

Lo anterior, está fundamentado en el hecho de que las acciones que implican posibles cambios y/o alteraciones en el ecosistema, son responsabilidad de todos en cuidar que no suceda así, y, aunque en ocasiones el impacto es negativo, se deben de buscar aquellos que sean positivos y de esa manera se tendrán que sacrificar algunos aspectos en beneficio de otros muchos, y el balance, siempre debe ser a favor del cuerpo de agua.

Por lo anterior, se seleccionó a la Laguna de Zapotlán como sede de la Olimpiada Nacional en el año 2010 y subsede de los XVI Juegos Panamericanos Guadalajara 2011 en las disciplinas deportivas acuáticas de remo y canotaje, se buscó conocer cuáles serían los planes de construcción de las instalaciones deportivas, como lo son las instalaciones, hidráulicas, sanitarias, eléctricas y área para prensa que albergaría radio y televisión internacional como nacional, su ubicación y dimensiones, para saber cuánto podría ser la posible afectación, por lo que en una reunión de todos los involucrados y comprometidos con dicha justa continental, se decidió hacer el análisis sobre las condiciones que se plantearon para llevar a efecto ambas competencias deportivas y así proponer a las autoridades deportivas, además de los tres niveles de gobierno, estatal, municipal y federal, los posibles ajustes que causaran el menor impacto posible en el ecosistema.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Fue compatible el evento deportivo con los objetivos del sitio Ramsar lográndose tener optimas condiciones de calidad de agua y compatibilidad de objetivos

y metas por usuarios como deportistas, artesanos, pescadores, organizaciones turísticas, comunidades indígenas, gobiernos y sociedad en general, los recursos naturales tuvieron un mínimo impacto ambiental, el escenario son dos escuelas nacionales una de remo y otra de canotaje donde se capacitan más de 200 alumnos por día, actualmente se tienen, casetas de jueces, ciclo pistas y se le dio mantenimiento primario al total de 36 kilómetros de senderos y malecones, y se desarrollaron 500 metros de senderos y malecón totalmente terminados quedando con una anchura de 8 metros y un elevación de dos metros arriba del límite máximo de agua alcanzado en el lago en su histórico de mayor capacidad de los últimos 50 años autorizado por la Comisión Nacional del Agua, Jalisco (CNA).

Los problemas específicos que debe tomarse en cuenta son:

Conservar la Cuenca de Zapotlán y la zona del Lago en su carácter de ambiente natural como representativo de la región, así como de los ecosistemas y su biodiversidad mediante el manejo y administración de un ANP de carácter federal, asegurando el equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos de los que dependen tanto su diversidad y riqueza biológicas, como el desarrollo y bienestar de la población, asegurando la permanencia de los recursos naturales. Profundizar las oportunidades de la conservación de la biodiversidad, especialmente de aquellas especies que son endémicas, raras, amenazadas o en peligro de extinción. La expansión desordenada del principal asentamiento humano que conlleva un incremento en la demanda de agua dulce así como disposiciones inadecuadas de las aguas residuales urbanas vertidas al humedal. El desarrollo urbano asociado al incremento de las actividades productivas, como la agricultura, la ganadería, etc., han tenido una consecuencia directa en este sistema acuático al alterar o destruir sus condiciones naturales. Las alteraciones al cuerpo de agua pueden darse en diversos niveles de la propia cuenca, como alteración de su parte alta, principalmente por deforestación y consecuente pérdida de suelo y agua.

Algunos de los procesos provocan alteraciones de carácter reversible o irreversible, como puede ser la desecación parcial o total del cuerpo de agua. Los principales problemas que presenta la zona del Lago de Zapotlán es la deforestación de la cuenca, la descarga de aguas residuales que provienen de los centros de población, conjuntamente con el lavado de las tierras agrícolas y ganaderas que llevan fertilizantes y pesticidas, incrementando en el Lago el

exceso de nutrientes (eutrofización) reflejado en las malezas acuáticas (lirio y tule) que poco a poco invaden el cuerpo de agua. (Un problema importante de mencionar fue que el vaso lacustre fue atravesado por dos infraestructuras carreteras uno la carretera libre Guadalajara-Colima y el otro el libramiento de la Ciudad, cambiando el comportamiento natural del cuerpo lacustre).

Además se realizaron conductos de intercambio de agua entre el fragmento de lago menor y mayor estando al oriente y poniente respectivamente. La fragmentación del lago se había realizado en la década de los años 60 cuando se construyó la carretera estatal Ciudad Guzmán - Guadalajara y por falta de mantenimiento se había perdido esta funcionalidad, por lo que el municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco solicitó a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) la desincorporación de esta vía carretera, con la finalidad de proteger, conservar y manejar sustentablemente el lago lo cual tuvo una respuesta favorable. Logrando con ello que se le aplicara material rocoso en los costados y base de la carpeta de los senderos y malecones, también se logró una compactación aceptable para la aplicación de ladrillo adoquín y huellas de cemento en el sendero y ciclopista, se construyó un pabellón que alberga a la escuela de canotaje y remo, baños y una explanada para los deportes al aire libre, logrando así un nivel proyectado y contribuyendo a reducir la acción mecánica del oleaje y el viento sobre estos 500 metros del sendero y el malecón que fue el escenario principal de la justa deportiva panamericana. Quedando un legado de patrimonio deportivo y cultural a las próximas generaciones consistiendo en: dos hangares, gimnasio, depósito de lanchas y kayak, una construcción para alojamiento de jueces y autoridades de 6 x 5 metro, con tres pisos, áreas de alojamiento y confort de atletas y escenarios públicos. La inversión tuvo un costo de 70 millones de pesos y se realizó con recursos públicos .

El Lago-Laguna de Zapotlán, fue sede de los Juegos Panamericanos 2011, con una asistencia en promedio de 3,000 personas por evento, la infraestructura se apego al PCyM, (2009). La Laguna de Zapotlán “Sitio Ramsar”, contó con escenarios básicos para el evento, obligando a autoridades, usuarios y sociedad hacer uso racional y sustentable del ecosistema.

Además la Laguna de Zapotlán fue en 2010 sede de la Olimpiada nacional de remo y canotaje y para octubre los Juegos Panamericanos 2011 en las especialidades de remo y canotaje, ya que cubre las necesidades prioritarias demandantes para dichos eventos. Para lo cual conto con un pabellón con dos naves para alojamiento de materiales y equipos, y una área de gradería móvil de 300 metros lineales los cuales fueron instalados y se encuentran en la antigua carretera Ciudad Guzmán – San Sebastián del Sur, las instalaciones para los deportistas cumplen con las normas oficiales reglamentadas por la Comité organizador de los juegos panamericanos Guadalajara (COPAG) (Figura 1).



Figura 1. Actividades deportivas en el Lago de Zapotlán.

Un nuevo dilema fue que el Lago-Laguna de Zapotlán, sería subsede de los Juegos Panamericanos Guadalajara 2011, por lo cual se debió de tomar en consideración que es un humedal de importancia internacional y sitio Ramsar No 1466, y que se están realizando las gestiones ante las instancias correspondiente para pueda obtener la categoría de Área Natural Protegida (ANP) a nivel nacional, un paradigma a romper es que los humedales hoy en día deben de protegerse, conservarse, manejarse y aprovecharse de manera sustentable en beneficio de una comunidad responsable ya que son patrimonios de la humanidad con incalculables beneficios ecológicos, sociales, económicos, políticos y culturales, actualmente el lago de Zapotlán cumple funciones muy diversas desde la producción de tule para artesanías de la cual tienen trabajo y viven 300 familias, la producción pesquera que integra a dos sociedades cooperativas con 64 socios, a 224 usuarios de concesiones federales las cuales se utilizan para agricultura y ganadería y los servicios eco turísticos con 21 socios y dos escuela nacionales de

remo y canotaje con más de 200 alumnos.

Las actividades deportivas llevadas a cabo en el lago de Zapotlán fueron compatibles con el uso y aprovechamiento del ecosistema sin generar conflictos sociales, ambientales y políticos entre usuarios gobiernos y deportistas, pudiendo expresar la compatibilidad de actividades y el aprovechamiento sustentable máximo de un ecosistema como es la laguna de Zapotlán, generando nuevas expectativas en el uso y aprovechamiento de los humedales y la contribución a la protección, conservación y manejo

CONCLUSIONES

Los juegos Panamericanos Guadalajara 2011 con la subselección de remo y canotaje “laguna de Zapotlán” sitio Ramsar No 1466, dieron cumplimiento a los objetivos y metas propuestas de esta justa deportiva con un mínimo de impacto ambiental permisible y generaron compatibilidades entre la protección, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de este humedal, generando progreso y desarrollo sustentable y optimización de este tipo de ecosistema. La “laguna de Zapotlán”, subselección de remo y canotaje de los XVI Juegos Panamericanos Guadalajara, 2011. Cumplió satisfactoriamente con las condiciones necesarias para que se realizara con éxito esta justa deportiva y las acciones realizadas van acorde con la designación del Lago-Laguna de Zapotlán como “Sitio Ramsar 1466”, obliga a autoridades (de los tres niveles de gobierno), usuarios y sociedad en general a transitar hacia la consolidación de un sitio sustentable que cumpla con las demandas sociales, económicas, ambientales, culturales y políticas de este humedal. Ya que este humedal es reconocido a nivel internacional como caso exitoso en sustentabilidad (Ramsar, 2010) y caso exitoso en turismo de humedales (CONANP y Ramsar, 2012).

Y por ser una cuenca endorreica (cerrada) con características especiales se tiene que continuar con un trabajo decidido para cuidar las acciones que se desarrollan en la cuenca alta ya que impacta de manera considerable al humedal.

BIBLIOGRAFÍA

- Leff, E., Carabias J.: 1993. "Cultura y Manejo Sustentable de los Recursos Naturales", 1º ED. Miguel Angel Porrua. México.
- Michel Parra, J. G. *et al.*, (2009). Guadalajara 2011 (Juegos Panamericanos). Memorias del 2do Congreso Int. de Humedales Laguna de Zapotlán. Cd. Guzmán, Jalisco, México. ISBN: 978-607-450-145.
- Moreno, Jonathan. (2009). Lago-Laguna de Zapotlán el Grande de cara a los Juegos Panamericanos de Guadalajara 2011, en los deportes de remo y canotaje. 3er Congreso Internacional de Humedales Laguna de Zapotlán. Cd. Guzmán, Jalisco, México.
- Michel P J. G. *et al.*, (2009). Programa de Protección, Conservación, Manejo y aprovechamiento de la "Laguna de Zapotlán". CONANP. México. D.F. pp 432.
- Michel Parra, J.G. *et al.*, (2006- 2011). Lago de Zapotlán. Laguna de Zapotlán Sitio Ramsar. Ed. Universidad de Guadalajara. 1º y 2º Ed. Cd. Guzmán, Jalisco, México. 240 pp ISBN 970-27-1074-X 240 pp.
- Michel P J.G., Guzman A.M. *et al.*, (2007). La Pesca y Acuacultura en Jalisco *Panorama* Ed. 1º. Ed. Universidad de Guadalajara. Ciudad Guzmán, Jalisco. México. 200 pp.



EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS EN UNA POBLACIÓN EXPUESTA A PLOMO EN EL ESTADO DE TLAXCALA

Juana Sánchez Alarcón
José Luis Gómez Olivares
Stefan M. Waliszewki
José M.R. Montiel González
J. Antonio Guevara García
Rafael Valencia Quintana

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la exposición al plomo y la consecuente intoxicación constituyen un problema de salud en todo el mundo. El plomo no tiene ninguna función biológica en los organismos vivos; sin embargo, su utilización en diversas actividades humanas constituye una fuente de exposición para la población en general y en una área limitada provoca un gran impacto sobre el suelo, aire y agua (Hernández *et al.*, 1991, Hernández y Palazuelos, 1995; Pirkley *et al.*, 1998; Widianarko *et al.*, 2000; Furman y Laleli, 2001).

El plomo produce efectos tóxicos en los diferentes sistemas y órganos del cuerpo humano dependiendo del nivel de exposición y de su duración (Gulson *et al.*, 1997). Los efectos biológicos más relevantes de la presencia del plomo en el organismo se reflejan por la alteración de la biosíntesis del grupo hemo (precursor en la formación de la hemoglobina en la sangre), de la eritropoyesis (formación de eritrocitos), de la función endocrina, hepática, renal, reproductiva, alteración en el sistema cardiovascular, retraso en el crecimiento, trastornos en el aprendizaje, alergias, cáncer y daño al sistema nervioso central (Tong y Lam, 1998; Berlund *et al.*, 2000; Kaul *et al.*, 2000; Moline *et al.*, 2000). En el cuadro 1, se muestran la respuesta en niños y adultos a diferentes niveles de plomo en sangre (PbS).

En México una fuente principal de exposición ambiental y sobre todo ocupacional al plomo, se deriva de la fabricación y utilización de loza vidriada con óxido de plomo. De acuerdo con el Fondo Nacional de las Artesanías (Fonart), alrededor de 5 millones de personas, en su mayoría indígenas, practican la alfarería en 20 estados del país. Los talleres son de tipo familiar: participan el padre, la madre, los hijos y parientes como primos, tíos, compadres, cuyas edades fluctúan entre siete y setenta años. Los procesos de producción artesanal se transmiten de generación en generación (Hernández *et al.*, 1991). Los talleres se suelen instalar cerca o dentro de la vivienda. Se trata de instalaciones rudimentarias e inadecuadas que conllevan a una gran exposición al plomo, que ocurre sobre todo cuando se esmaltan y son vidriadas las piezas con óxido de plomo, el riesgo de exposición se potencializa tanto para quienes lo aplican como para los que viven cerca de los hornos de cocción (CDC, 1995; Ramírez *et al.*, 2005).

Existen muchos Estados en la República que son reconocidos internacionalmente por la fabricación de este tipo de cerámica, como Michoacán, Jalisco, Oaxaca, Puebla, Hidalgo, Chihuahua y Tlaxcala. En el caso de las personas que se dedican a este trabajo, la principal vía de exposición al plomo es la absorción pulmonar más que la gastrointestinal; sin embargo, la absorción de plomo depende también del estado nutricional de las personas (CSP, 1995).

En el Municipio de San Pablo del Monte del estado de Tlaxcala México, se encuentran establecidos 30 talleres que se dedican permanentemente a la elaboración de la cerámica tipo Talavera en diferentes colores y diseños, tales como macetas, ceniceros, floreros, botaneros, cremeras, platonos de diferentes tamaños, ensaladeras, fruteros, tibores, platos tranches, platos soperos, tarros para café y cerveza, así como hermosas vajillas (INEGI, 2000).

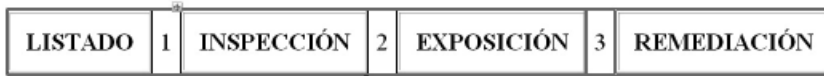
Pocos son los estudios que han evaluado los niveles de Pb en diferentes medios ambientales (suelo, polvo, agua y aire) en zonas alfareras. Hibbert *et al.* (1999) reportaron que los niños y las personas ocupacionalmente expuestas son quienes se encuentran en riesgo de presentar efectos en salud asociados a la exposición crónica a Pb en zonas alfareras, se ha demostrado que el Pb en suelo contribuye con el 29% de la exposición diaria en niños y con el 8% en adultos.

La contaminación por plomo es un problema detectado hace ya varias décadas primero en el ambiente laboral y posteriormente en la comunidad, produciendo

un riesgo latente que incrementa la probabilidad de presentar efectos en la salud. Se han realizado estudios sobre los niveles de PbS en diferentes sitios alfareros de México, sin embargo no se han estudiado las zonas que se dedican a la cerámica tipo talavera de manera integral como sitios contaminados. El presente estudio pretende realizar una estimación de forma preliminar de riesgo en la salud en una zona que elabora cerámica vidriada, tipo “talavera”, midiendo los niveles de PbS y evaluando la contaminación ambiental (determinando niveles de plomo en suelo), utilizando la metodología de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), para la estimación de riesgo en Salud por exposición a plomo. Hasta el momento no existe ninguna información que analice este problema en salud de la comunidad. Con base en los resultados se establecerá si el sitio necesita estudios más completos y detallados para evaluar el riesgo en la salud de la población y si el sitio necesita medidas ambientales de remediación.

MATERIALES Y METÓDOS

Se empleó la metodología de la Organización Panamericana de Salud (OPS) para evaluación de riesgos en salud por exposición a plomo (Díaz-Barriga, 1999); conformada de tres fases (Figura 1).



(1) Priorización preliminar. (2) Calificación de los sitios al final de la fase de inspección. (3) Categorización de los sitios al final de la fase de evaluación de la exposición.

Figura 1. Fases de la Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados (Díaz-Barriga 1999)

Figura 1. Fases de la Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados (Díaz-Barriga 1999).

La elaboración del listado y la priorización preliminar fueron llevadas a cabo previamente, como parte del proyecto de investigación titulado “Evaluación de riesgos y efectos en la salud de poblaciones expuestas a plomo”, Apoyado por CONACyT, FOMIX-Gobierno del estado de Tlaxcala con clave: TLAX-2004-C01-18. En el presente estudio se llevó a cabo la Inspección preliminar del

sitio y se inició la evaluación de la exposición.

San Pablo del Monte se localiza al sur del estado de Tlaxcala ubicado en el Altiplano Central Mexicano a 2,300 metros sobre el nivel del mar, entre los 19 grados 07 minutos latitud norte y 98 grados 10 minutos longitud oeste, al norte con el municipio de Teolochohco; al sur y al oriente colinda con el estado de Puebla, al poniente con los municipios de Tenancingo, Mazatecochco y Acuamanala.

La zona tiene actividad Industrial, cuenta con 313 empresas, de las cuales 171 corresponden a la rama de productos alimenticios y bebidas, 54 a la de minerales no metálicos, 51 a la de metálicos, 31 a la de textiles y prendas de vestir y 6 a las de productos de alfarería, cerámica tipo Talavera y madera (INEGI, 2000).

La Figura 2, muestra la ubicación del municipio de San Pablo del Monte.



Figura 2. Ubicación del Municipio de San Pablo del Monte en el estado de Tlaxcala

Evaluación de la exposición y monitoreo ambiental.

Selección de la población.

Se efectuó un estudio transversal tomando muestras de sangre de personas a quienes se les proporcionó un cuestionario para obtener información sobre sus hábitos en el hogar y en el trabajo, así como una carta con información sobre el estudio en donde se les solicitó su firma de consentimiento para participar en éste.

Criterios de inclusión.

Para incluir a un voluntario en el estudio se consideró: a hombres o mujeres que vivieran desde su nacimiento en la comunidad; que trabajaran directamente con litargirio (óxido de plomo) y tuvieran hornos en su hogar o cerca de su casa; no se incluyeron personas que estudiaran o trabajaran fuera de la localidad o que no aceptaran participar de forma voluntaria.

Plomo en sangre.

Las muestras fueron colectadas en un lugar cerrado fuera del área de exposición y con las condiciones de higiene adecuadas para evitar la contaminación de la misma. Considerando las medidas de seguridad e higiene para el manejo residuos biológicos e infecciosos (NOM-087-ECOL-1994).

Todo el material utilizado fue exclusivo para esta finalidad. Los tubos para la extracción de sangre al vacío (tubos vacutainer) de 3 a 10 ml de capacidad estuvieron libres de plomo, contenían anticoagulante EDTA-tripotásico y disódico. Al tomar la muestra cada tubo fue llenado hasta dos tercios de su máxima capacidad, para que la concentración del anticoagulante fuera la indicada.

Para la determinación de los niveles de Pb en sangre se utilizó el «Lead Care System II» (Taylor *et al.*, 2004).

Plomo en suelo.

Para el muestreo ambiental se utilizó el Manual de Muestreo Ambiental, publicado por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR 1999). Para ello se situó cada horno alfarero con ayuda de un GPS ubicándolo en un mapa, se realizó la toma de muestras de suelo superficial (5 cm de profundidad) recolectando aproximadamente 500 g de suelo en un área de 1

m² ya que en este nivel existe mayor contacto con la población.

Las muestras fueron llevadas a deshidratación en estufa de secado a una temperatura menor de 50 °C, posteriormente se tamizaron para descartar partículas mayores de 600 µm. De cada una de las muestras se pesó 1 g por duplicado y se mandaron a analizar por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito de acuerdo con el método descrito por USEPA (2001) para obtener los niveles de plomo en suelo.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Resultados.

En el presente estudio realizado en la población San Pablo del Monte del estado de Tlaxcala México durante el 2007, se logró la participación de un 80 % de los talleres que se dedican a elaborar talavera. Cada representante de taller colaboró en el convencimiento de sus trabajadores para que proporcionaran una muestra de sangre y permitieran tomar una muestra de suelo dentro y fuera del taller.

El sitio se eligió con base en el listado y priorización preliminar, realizados como parte de la metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados (Díaz-Barriga, 1999), dentro del proyecto antes mencionado. Las fuentes de exposición a plomo en este lugar son fundidoras y talleres de talavera, en este último caso, utilizan óxido de plomo (litargirio) para la fabricación de sus artesanías.

El estudio transversal incluyó muestras de sangre de 50 personas a quienes se les informó sobre los propósitos del estudio y firmaron el consentimiento correspondiente para participar de forma voluntaria en éste, las personas que no firmaron el consentimiento fueron excluidas. 40 de ellas fueron trabajadores de la talavera (Cuadro 2) y 10 fueron personas de la misma comunidad no expuestas laboralmente (Cuadro 3). Todas ellas respondieron un cuestionario cuyo propósito era proporcionar información sobre sus hábitos en el hogar y en el trabajo.

Cuadro 1. Niveles de plomo en sangre y su respuesta en niños y adultos.

Respuesta en niños	Niveles de Pb en sangre (µg/dL)	Respuesta en adultos
	150	
Muerte		
	100	Encefalopatía
Encefalopatía		
Nefropatía		Anemia
Anemia		
Cólico		
	50	Disminución de la síntesis de hemoglobina
		Neuropatía periférica
Disminución de la síntesis de hemoglobina	40	Disminución de la fertilidad (hombre) Nefropatía
Deficiencia de vitamina D	30	Hipertensión arterial Disminución de la capacidad auditiva
Disminución de la conductividad nerviosa	20	
Disminución del coeficiente intelectual	10	¿Hipertensión arterial?
Disminución de la capacidad auditiva y de la estatura.		¿Abortos espontáneos?
Tabla adaptada de ATSDR, Case studies in environmental medicine No.1 (ATSDR 1999)		

Los niveles de PbS de los 40 trabajadores voluntarios se presentan en la Cuadro 2. El grupo estuvo formado por un total de 7 mujeres que representan el 17.5 % y un total de 33 hombres que representan el 82.5 %. Los valores encontrados van de 6.2 hasta 58.3 µg/dL, encontrándose los valores más altos en hombres al compararse con mujeres, cuyos niveles van de 6.4 a 31.7 µg/dL, con promedios de 31.1 y 18.6 µg/dL, respectivamente.

Cuadro 2. Niveles de plomo en sangre por género en trabajadores de talavera San Pablo del Monte, Tlaxcala, México.

Género	No. de trabajadores	nivel de PbS (µg/dl).	PbS (µg/dl).
Hombre	33	6.2-58.3	31.1
Mujer	7	6.4-31.7	18.6
Total	40	6.2-58.3	28.9

Cuadro 3. Promedios de niveles de plomo en sangre por actividad en trabajadores de talavera de San Pablo del Monte Tlaxcala, México.

Actividad	No. de trabajadores	Nivel promedio de PbS (µg/dL)
TAMIZADOR	3	43.9
PINTOR (ESMALTA)	10	36.8
DECORADOR	9	32.8
ADMINISTRADOR	3	24.0
TORNERO	5	22.6
MOLDERO	4	22.0
AYUDANTE	4	17.7
TESTIGO	10	8.3

Los niveles de Pb en sangre de las personas no expuestas laboralmente van de 4.4 a 11.5 µg/dL., con un promedio de 8.3 µg/dL (Cuadro 3). El grupo estuvo formado por 4 mujeres (40 %) y por 6 hombres (60%).

El 87.5 % de los trabajadores rebasa el límite permitido para población en

general que es de 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ y, como ya se mencionó, 45 % rebasan la norma para personas laboralmente expuestas que es de 30 $\mu\text{g}/\text{dL}$ (Hernández *et al.*, 1991; Burger, 2002).

Como podemos observar en el Cuadro 3, existen actividades con mayor y menor riesgo dentro de los talleres de la talavera, el orden de mayor a menor riesgo es: Tamizadores › Pintores (esmaltaadores) › Decoradores › Administradores › Torneros › Molderos › Ayudantes.

Al compararse con los controles (Cuadro 1 y 2), las mujeres trabajadoras rebasan el doble del nivel de PbS de éstos (2.2 veces) y los hombres lo rebasan por casi el cuádruple (3.9 veces).

Relacionando los niveles de Pb en sangre con el índice máximo permisible de exposición laboral a plomo (cuadro 4), los niveles de riesgo para la población monitoreada en el presente estudio son: con riesgo bajo 55%; con riesgo moderado 20%; con riesgo alto 25%; con riesgo extremadamente alto 0.0%.

Cuadro 4. Índice biológico máximo permisible de exposición laboral a plomo.

Niveles de riesgo	Rango de PbS ($\mu\text{g}/\text{dL}$)
Extremadamente alto	≥ 60
Alto	40-59
Moderado	31-39
Bajo	≤ 30

Los promedios de Pb en sangre para la población no expuesta laboralmente y laboralmente expuesta fueron: 8.3 y 28.9 $\mu\text{g}/\text{dL}$, respectivamente (Cuadro 2).

Por otra parte, se obtuvieron 14 muestras de suelo en San Pablo del Monte, con el fin de analizarlas y determinar la concentración de plomo. El análisis de las

muestras se realizó mediante la técnica espectrofotometría de absorción atómica. Se encontró que el 14.3 % de las muestras analizadas superó el valor criterio de 400 mg/Kg. establecido en la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para uso residencial (Beaty, 1980; EPA, 1993; CDC, 1995; Romieu y Lacasaña, 1995; Romieu *et al.*, 1996)

Discusión.

El estudio sugiere que el problema de la exposición laboral es un problema de salud pública y que es importante diseñar estudios de intervención y evaluar su efectividad continuamente, para limitar los niveles de PbS en la población de San Pablo del Montén, Tlaxcala, México y contribuir a prevenir la exposición a plomo de los artesanos.

Con base en las encuestas y la medición de PbS con el “*Lead Care System II*” se encontró que San Pablo del Monte es un sitio contaminado, la mayoría de las personas que se dedican a elaborar talavera presentan un riesgo en la salud ya que las cenizas y el material de trabajo está a su alcance y no siempre cuentan con equipo de protección, ni las medidas de seguridad para disminuir los altos niveles de plomo encontrados en el estudio realizado.

Más del 80 % de la población evaluada en este estudio tuvo niveles de PbS mayores de 10 µg/dL que es el nivel de intervención ambiental establecido por el CDC.

El plomo es un metal pesado que no juega ningún papel en la fisiología humana, por lo que el nivel plasmático debería ser cero. En la actualidad es prácticamente imposible encontrar alguna persona en la que no se detecten niveles de PbS (Ascione, 2001). El análisis de muestras de sangre venosa se considera un método primario para supervisar los niveles de plomo de origen ocupacional (Taylor *et al.*, 2004).

Los instrumentos portátiles pueden ofrecer resultados analíticos expeditos para los profesionales de la salud y en áreas donde se carece de la infraestructura analítica o de laboratorio, se utiliza para analizar rápidamente niveles del plomo de la sangre venosa en los individuos. Es un instrumento desarrollado por los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) (Taylor *et al.*, 2004).

El llamado “*Lead Care System IP*” ha dado resultados con un 99% de exactitud al igual que el espectrofotómetro de absorción atómica y es muy ocupado en los E.U., este equipo requiere que los valores por encima de 60 $\mu\text{g}/\text{dL}$ sean confirmados por el método convencional. Este instrumento portátil fue diseñado para proporcionar una alerta, es una técnica rentable para monitorear las exposiciones de plomo y se ha utilizado con éxito para la investigación pediátrica. El análisis rápido con este instrumento, lo hizo potencialmente valioso para los profesionales de la salud y para investigaciones en sitios con poblaciones de trabajadores expuestos al plomo. El instrumento no requiere los reactivos de gran pureza, tales como ácido nítrico concentrado o agua ultra-pura. Esto es una ventaja adicional para las investigaciones en el campo de la salud que usen este instrumento (Taylor *et al.*, 2004).

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana para población ocupacionalmente expuesta, el valor recomendado de PbS es de 30 $\mu\text{g}/\text{dL}$, 45 % de la población muestreada rebasa dicho límite.

Los trabajadores de sexo masculino son las que ocupan más tiempo en las actividades de cerámica tipo talavera, sin embargo aún cuando el promedio de Pb en sangre fue menor en las mujeres, el 71.4 % tuvo niveles mayores a 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$.

Del conjunto de muestras de suelo analizadas se tienen concentraciones donde los valores de plomo varían de 3.39 a 525.04 mg kg^{-1} . Este valor resulta menor al valor reportado por Mejía *et al.* (1999) en área urbana de Villa de la Paz, San Luís Potosí. El 14.3 % de estas muestras supera los 400 μg de plomo por kilogramo de suelo, valor máximo que la EPA recomienda para que el suelo sea utilizado para uso residencial y áreas urbanas.

Con esta información se puede decir que el valor promedio encontrado hasta el momento es un indicio de que el suelo no es una fuente potencial de intoxicación por plomo para la población susceptible ya que el 85.7 % de las muestras analizadas tienen una concentración menor a los 400 $\mu\text{g}/\text{Kg}$.

Comparando los resultados del presente estudio con el realizado en la zona alfarera de Santa Fe, Michoacán (Olaiz *et al.*, 1997; Hibbert *et al.*, 1999), se puede observar que la zona alfarera de Michoacán presenta un nivel promedio

de Pb en suelo más elevado (6420 mg/kg) en comparación, el valor promedio encontrado en Tlaxcala (160.06 mg/kg) se encuentra cuarenta veces por debajo del primer valor. El 88% de las muestras en Michoacán sobrepasan los 400 mg/kg de Pb en suelo, valor recomendado para áreas de recreación infantil y el 70% de las muestras fueron mayores a 1200 mg/kg valor recomendado para suelo de uso común, en cambio en San Pablo del Monte, Tlaxcala, México solo el 14.3 % rebasa los 400 mg/kg. Con estos datos se puede notar que San Pablo del Monte se encuentra con menor nivel de contaminación ambiental.

Un estudio realizado por Valencia *et al.* (2006) en la Trinidad Tenexyecac, Tlaxcala, México, zona que se dedica a la alfarería, encontró que más del 80 % de la población monitoreada rebasaba el nivel de intervención de 10 µg/dL.

Haciendo una comparación de resultados de nuestro estudio con el de Valencia *et al.* (2006), se observa que también se encontraron niveles de plomo más altos en el sexo masculino (58.3 µg/dL) que en el femenino (44 µg /dL), los cuales representan un riesgo potencial para la salud pudiendo causar: hipertensión arterial, neuropatías, disminución de la fertilidad y neuropatía periférica, entre otros factores de riesgo en salud.

La población se encuentra expuesta laboralmente y presenta un riesgo susceptible a los efectos tóxicos del Pb. En el presente estudio solo participaron individuos adultos y se observó un alto nivel de PbS, será necesario dar continuidad en niños menores de 7 años de edad y poder definir la concentración de Pb en sangre y si existiera un alto nivel prevenir a la población proponiendo estrategias de remediación eficientes para el sitio contaminado por Pb.

Se deben realizar exámenes periódicos en los trabajadores expuestos a este metal pesado cada 6 meses para determinar sus niveles de Pb en sangre (µg/dL) con este examen se puede exigir la retirada del trabajador del lugar de exposición. Los individuos con niveles altos de PbS deben someterse a revisiones cada tres meses.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se desarrollo dentro del proyecto financiado por FOMIX CONACyT-Tlaxcala con titulo “*Evaluación de riesgos y efectos en la salud de poblaciones expuestas a plomo*” CLAVE TLAX-2004-C01-18.

BIBLIOGRAFÍA

- Ascione, I. (2001). Intoxicación por plomo en pediatría. Arch Pediatric Urug. 72, 133 -138.
- ATSDR (1999). Toxicological Profile for Lead. Agency for Toxic Substance and Disease Registry. U.S. Public Health Service. Atlanta, (G.A). US Departamet of Health and Human Services [http:// www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html).
- Beaty M. Barnett W. Grobensi Z. (1980). Techniques for analyzing difficult simples with the HGA graphite furnace. Atom. Spectrosc. 1, 72-77
- Berlund M., Lind B., Sorensen S., Vahter M. (2000). Impact of soil and dust lead on children´s blood lead in contaminated areas of Sweden. Arch. of Environ. Health. 55, 93-97.
- Burger M. Laborde A. (2002) Facultad de Medicina, Hospital de Clínicas. Informe al Parlamento sobre intoxicación laboral por plomo. Montevideo: Departamento de Toxicología
- CDC (Centro de Control de Enfermedades de los Estados Unidos de América) (1995). Intoxicación por plomo: de la detección a la prevención primaria. Salud Pública de México. 37, 264-276
- CSP (Clásicos de la Salud Pública) (1995). “El plomo en la gasolina: un conflicto entre la salud pública y el desarrollo económico” Salud Pública de México. 35, 72-81
- Díaz Barriga F 1999. Metodología de identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana - Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Auspiciado por: Agencia Alemana de Cooperación Técnica, GTZ. Lima, 93 pp.
- EPA (1993). *Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge Final Rules*. Environmental Protection Agency, Federal Register, Part II 40 CFR Part 257.
- Furman A. y Laleli M. (2001). Maternal and umbilical cord blood lead levels: An Istanbul study. Archives of Environ. Health. 56, 26 -28.

- Gulson B.J., Jameson C., Mahaffey K., Mizon K., Korsch M. y Vimpani G. (1997). Pregnancy increases mobilization of lead from maternal skeleton. *Journal Laboratory Clinical Medicine* 130, 51-62.
- Hernández Ávila M. y Palazuelos Rendón E. (1995). Intoxicación por plomo en México: Prevención y Control: Perspectivas de Salud Pública. 1ª Ed. Instituto Nacional de Salud Pública de México. 21, 13-24
- Hernández Ávila M, Romieu I, Ríos C, Rivero A, Palazuelos E. (1991). Lead-glazed ceramics as major determinants of blood levels in Mexican women. *Environ Health Perspect.* 94, 117-120.
- Hibbert R., Bai Z., Navia J., Kamrnen D.M. y Zhang J.J. 1999. High lead exposures resulting from pottery production in a village in Michoacán State. México. *J. Exp. Anal. Environ. Epidem.* 9, 343-351.
- INEGI, (2000). Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. www.inegi.gob.mx
- Kaul B., Rasmuson O.J., Olsen L., Chanda R.C., Slazhneva I.T., Graovsky I.E. y Korchevsky A.A. 2000. Blood lead and erythrocyte protoporphyrin levels in Kazakhstan. *Ind. J. Pediat.* 67, 87-91.
- Mejía J., Carrizales L., Rodríguez V.M., Jiménez Capdeville M.E., Díaz Barriga F. (1999). Un método para la evaluación de riesgos para la salud en zonas mineras. *Salud Pública de México.* 41, (Supl.2), 132-140.
- Moline J., Lopez C.L., Torres S.L., Godbold J., Todd A. (2000). Lactation and lead body burden turnover: A pilot study in Mexico. *J. Occup. Environ. Medicine.* 42, 1070-1075.
- Olaiz F. G., Rojas R. y Palazuelos E. 1997. High blood lead levels in ceramic folk art workers in Michoacán, México. *Archives of Environ. Health* 52, 51-55.
- Pirkley J.L., Kaufmann R.B., Brody D.J. 1998. Exposure of the U.S. population to lead, 1991-1994. *Environ. Health Perspect.* 106, 745-750.
- Ramírez M., Alatorre R., Plasencia M., Barraza A. 2005. Salud infantil y medio ambiente en América del Norte. Un primer informe sobre indicadores y mediciones disponibles. Informe Nacional: México Preparado por la Secretaría de Salud. 27-37

- Romieu I. Lacasaña M. 1995. Contaminación por plomo en América Latina y el Caribe Ecología humana y salud Vol. XIV: 4
- Romieu I. Lacasaña-Navarro M. McConnell R. 1996. Lead Research Group of the Pan-American Health Organization. Lead exposure in Latin American and the Caribbean. Environ. Health Perspect. 398-405.
- Taylor, L., Ashley, K., Jones, R.L., Deddens, J.A. 2004. Field evaluation of a portable blood lead analyzer in workers living at a high altitude: A follow-up investigation. Am. J. Ind. Med. 46, 656-662.
- Tong S.T.Y. y Lam K. (1998). Are nursery schools and kindergartens safe for our kids? The Hong Kong study. Sci. Total Environ. 216, 217-225.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). 2001. "Residential lead hazard standards-TSCA Section 403". Office of pollution prevention and toxics. Environmental Protection Agency, U. S. www.epa.gov/lead/leadhaz.htm.
- Valencia Quintana R., Sánchez Alarcón J., Juárez Santacruz L., Gómez Olivares J.L., Martínez Salinas R.I., Carrizalez Yáñez L., Calderón Hernández J., Razo Soto I. (2006). Plomo, Ambiente y Salud. En: Carrasco Rivas (Ed.). La Trinidad Tenexyecac. Transformación Histórico-Económica e Impacto en la Salud Laboral de una Comunidad Agrario-Locera Tlaxcalteca. Cap. III. 197-224.
- Widianarko B., Berweij R.A., Van Gestel C.A.M. y Straalen N.M. 2000. Spatial distribution of trace metals in sediments from urban streams of Semarang Central Java, Indonesia. Environ. Res. 46, 95-100.



DETERMINAR EL EFECTO EN LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL AGUA Y DEL SEDIMENTO POR VERTIDO DE PETRÓLEO

**Requena Pavón G.C.
Agraz Hernández C.M.
Vazquez Botello A.
Osti Saénz J.
Reyes Castellanos J.E.
Chan Keb C.
García Zaragoza C.**

INTRODUCCIÓN

Los bosques son una parte integral de la vida sobre la tierra, proveen una variedad de beneficios a nivel local y nacional, y constituyen aproximadamente el 40% de la masa total de tierras en el mundo (FAO, 1995). De esta superficie el 1% está constituido por los manglares, con 16 millones de hectáreas (Field, 1997). En México, a pesar de de ser el décimo país más importante en extensiones de bosques de manglar, se tiene una pérdida de aproximadamente el 14% del total, durante el periodo de 1993 al 2000 (Agraz Hernández *et al.*, 2007).

A pesar de los múltiples servicios ambientales que nos proporcionan los manglares estos han sido presa de la contaminación, siendo estos impactados por agentes antrópicos que se desarrollan en la zona costera. Con el fin de reducir el impacto de las actividades industriales sobre estos ecosistemas, son necesarios estudios que describan y predigan el “estado de salud” de la zona, así como la liberación y el modo de transporte de los contaminantes a través del ecosistema. En el caso particular de la industria petrolera, en los últimos años han propiciado severos problemas de contaminación en los ecosistemas de la zona costera en diversas partes del mundo. Como resultado de lo antes expuesto, se ha registrado la acumulación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP’s) en los ecosistemas costeros (Simpson *et al.*, 1996). Olgúin (2007) menciona que uno de los impactos que ha afectado negativamente a los ecosistemas costeros y

específicamente a en los bosques de mangle, es atribuido a los derrame de petróleo. A pesar de ello, estos impactos han recibido poca atención y evaluación de los efectos que provocan los derrames de petróleo sobre los procesos biológicos, ecológicos y fisico-químicos del agua superficial, intersticial y de la propia turba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se construyeron dos humedales artificiales en un vivero con temperatura ambiental y salinidad controladas de ($23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25$ y de 22 a 24 ups respectivamente). Los estanques experimentales para el derrame de petróleo crudo y testigo fueron de 4.52 m de largo x 0.46 de ancho y 0.86 de altura. Para ambos estanques se elaboro un filtro biológico con diferentes estratos de material no consolidado; 30 cm para *R. mangle*, 33.7 en *L. racemosa* y 41.9 *A.germinans* de turba, 9 cm de arena, 9 cm de sello y 9 cm de grava. Por lo cual, cada estanque fue dividido en tres zonas, y simulada la distribución microtopografía por especie. Así mismo, el flujo y el reflujos de la marea fue representada mediante un sistema cerrado (con bomba y un timer), con base a la tabla de marea. En cada sección del estanque se sembraron 40 plántulas por especie y se dio un mes para estabilizar el sistema y acondicionamiento de las plántulas.

Los monitoreos mensuales de los parámetros químicos del suelo y del agua intersticial se hicieron en cada estanque por especie. El equipo utilizado para pH y Eh del suelo fue el *DUAL pH TECHNOLOGY* y para el agua intersticial fue un YSI pH 100pH. Con respecto a la salinidad se utilizó un refractómetro *ATAGO* 0 A 100 ups).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El comportamiento de los parámetros del agua intersticial entre los dispositivos experimentales presentaron en la fase de “referencia”; condiciones acidas, oxicas y mesohalinas en ambos dispositivos experimentales (DT y DVPC). La temperatura del agua intersticial se mantuvo en $23.0 \pm 5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en ambos dispositivos.

Por otra parte, los promedios de los parámetros fisicoquímicos registrados en el sedimento, presentaron similares condiciones a las del agua intersticial en ambos dispositivos experimentales (DT y DVPC) durante la fase de “referencia”, bajo

condiciones acidas y oxicas. Finalmente, la temperatura en el sedimentos de los dispositivos experimentales (DT y DVPC), se mantuvo constantes con 23.0 ± 5.0 °C en ambos dispositivos.

Es relevante mencionar que el dispositivo experimental DT durante la fase de “referencia” con respecto a la fase del “vertido con petróleo crudo”, no presento diferencias significativas, al aplicar una prueba de varianza múltiple (MANOVA). Siendo este un punto crucial en el diseño experimental y por lo tanto se elimina el posible enmascaramiento en los resultados obtenidos en el DCPC, al verter el petróleo crudo en las tres especies de plántulas de mangle. Ya que los parámetros físicos y químicos del agua intersticial y del sedimento regulan procesos energéticos internos; incluyendo la regulación y excreción de la sal, respiración de las raíces y fotosíntesis (Saenger, 1997).

Cuadro 1. Análisis de varianza múltiple con dos niveles (DT y DVPC), en la fase de “estabilización” para cada una de las especies (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*), entre los parámetros físico-químicos del agua intersticial de los dispositivos experimentales (DT y DVPC), bajo condiciones controladas ($P < 0.05$).

Fase de estabilización	Criterio	<i>Rhizophora mangle</i>					<i>Laguncularia racemosa</i>					<i>Avicennia germinans</i>				
		Test Estadístico	Estadístico F*	gl num	gl denom	Valor p	Test Estadístico	gl num	Estadístico F*	gl denom	Valor p	Test Estadístico	gl num	Estadístico F*	gl denom	Valor p
Agua intersticial: pH, temperatura, potencial redox y salinidad	Wilks	0.5706	0.188	4	1	0.918	0.00552	45.04	4	1	0.111	0.00188	132.6	4	1	0.065
	*Los valores de s = 1 m = 1.0 n = -0.5					*Los valores de s = 1 m = 1.0 n = -0.5					*Los valores de s = 1 m = 1.0 n = -0.5					
Turba: pH, temperatura, potencial redox	Wilks	0.9618	0.211	3	16	0.887	0.89683	0.431	4	15	0.784	0.69775	2.3	3	16	0.115
	*Los valores de s = 1 m = 0.5 n = 7.0					*Los valores de s = 1 m = 1.0 n = 6.5					*Los valores de s = 1 m = 0.5 n = 0.7					

El comportamiento en la concentración de los parámetros físicos y químicos del agua intersticial (pH, potencial redox, temperatura y salinidad) en ambos dispositivos experimentales (DT y DCPC) para este estudio, no mostraron diferencias significativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza múltiple con dos niveles (DT y DCPC), durante la fase del “*vertido con petróleo crudo*” entre los parámetros físico-químicos del agua intersticial de los dos dispositivos experimentales (DT y DCPC) forestado con plántulas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*), bajo condiciones controladas ($P < 0.05$).

Parámetro de Agua Intersticial	Criterio	<i>Rhizophora mangle</i>					<i>Laguncularia racemosa</i>					<i>Avicennia germinans</i>				
		Test Estadístico	Estadístico F*	g/ núm	g/ denorm	Valor p	Test Estadístico	Estadístico F*	g/ núm	g/ denorm	Valor p	Test Estadístico	Estadístico F*	g/ núm	g/ denorm	Valor p
pH,	Wilks	0.29002	1.836	4	3	0.323	0.62593	0.448	4	3	0.773	0.33657	1.478	4	3	0.390
Temperatura (°C),	Lawley-Hotelling	2.44809	1.836	4	3	0.323	0.59762	0.448	4	3	0.773	1.97113	1.478	4	3	0.390
Redox (mv),	Pillai's	0.70998	1.836	4	3	0.323	0.37407	0.448	4	3	0.773	0.66343	1.478	4	3	0.390
0/00 (ups)	*Los valores de s=1 m=1.0 n=0.5					*Los valores de s=1 m=1.0 n=0.5					*Los valores de s=1 m=1.0 n=0.5					

Sin embargo, autores tales como Huntley *et al.*, (1995); Calva (1997); Baumard *et al.*, (1999); Beg *et al.*, (2001) y Quetz *et al.*, (2009), mencionan que los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's), muestran una relativa insolubilidad en el agua y una fuerte adsorción al material particulado, acumulándose estos en los sedimentos y ocasionando una variedad de efectos toxicológicos.

Es por ello que aunque no se encontró diferencias significativas en las condiciones ambientales durante la fase de “*vertido con petróleo crudo*” para este estudio; autores como Mazda *et al.*, (1990), señalan que la mezcla de agua intersticial con los hidrocarburos afectan los procesos de la fotosíntesis, el intercambio gaseoso, modifican las de oxido/reducción y precipitan de los fosfatos, acumulándolos en el sedimento.

Los valores del potencial redox, temperatura y salinidad del agua intersticial del DCPC, no presentaron diferencias significativas con respecto al DT. Sin embargo, se observaron diferencia en los valores de pH entre los dispositivos experimentales, al registrarse cambios de condiciones acidas a alcalinas en el DCPC; contacto y permanencia del petróleo crudo en el dispositivo. Estos resultados coinciden con lo señalado por Adams *et al.*, (2008), que establece que estos cambios en el pH (condiciones acidas en el DT y condiciones alcalinas en

el DCPC) del agua en presencia del petróleo crudo; producen un deterioro en la calidad de los manglares.

Autores como Wolanski *et al.*, (1999) atribuyen esta conducta al comportamiento bioquímico de los compuestos del hidrocarburo que rodea las raíces de mangle. Así como, por el cambio químico que sufre el agua en presencia del hidrocarburo, afectando el proceso de respiración en las plántulas.

Con respecto a la disponibilidad de oxígeno del agua intersticial, se registró que el dispositivo experimental DCPC no presentó diferencias significativas (Cuadro 2); no obstante al igual que el pH, los valores del potenciales redox limitaron la productividad primaria (propiciando la inhibición de la fotosíntesis) e interfiriendo el intercambio gaseoso; provocando la muerte por asfixia y asimilación de los nutrientes por las plántulas (porcentaje de mortalidad en el DCPC con 35% para *Rhizophora mangle*, 25 % para *Laguncularia racemosa* y 30% *Avicennia germinans*, con respecto al DT).

Esto coincide con lo reportado por Mitsch & Gosselink (2002), donde indican que el efecto del petróleo crudo en el agua se ve reflejado con la abatimiento del contenido de oxígeno disuelto.

Así mismo, el comportamiento de los parámetros físicos y químicos en el sedimento (pH, potencial redox y temperatura) en este estudio, a diferencia del agua intersticial, si mostraron diferencias significativas (Cuadro 3).

El análisis de los hidrocarburos aromáticos policíclicos en los sedimentos juegan un papel clave en el ecosistema, ya que los hidrocarburos, particularmente los HAP's, pueden almacenarse y concentrarse en él sustrato (Neff, 1979); Ghosh y Lluthy *et al.*, (2001); Verrhiest *et al.*, 2001; Frignani *et al.*, (2003), Piña-Barragán (2006)); además que son resistentes a la degradación química o biológica, ejerciendo así un peligro para la biota circundante, penetrando por adsorción directa y reteniendo a través de la columna de agua los hidrocarburos, provocando una variedad de efectos toxicológicos (Libes *et al.*, 1992; Beg *et al.*, (2001); Sadler y Connell *et al.*, (2003); Ponce - Vélez y Botello *et al.*, (2005) y Manahan *et al.*, (2007)).

Cuadro 3. Análisis de una vía con dos niveles (DT y DCPC), durante la fase del “vertido con petróleo crudo” forestados con plántulas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemos* y *Avicennia germinans*) en los parámetros físicos y químicos del sedimento, bajo condiciones controladas ($P < 0.05$).

Parámetro de Sedimento	<i>Rhizophora mangle</i>			<i>Laguncularia racemosa</i>			<i>Avicennia germinans</i>		
	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p	Estadístico F	g (Factor, error)	Valor p
PH	30.40	(1,6)	0.001	11.04	(1,6)	0.016	6.86	(1,6)	0.040
TEMP (°C)	3.00	(1,6)	0.134	3.00	(1,6)	0.134	3.00	(1,6)	0.134
REDOX(mv)	57.57	(1,6)	0.000	4.49	(1,6)	0.078	4.41	(1,6)	0.081

Por otra parte, se establecieron condiciones ácidas en el dispositivo DT y alcalinas DCPC, estas diferencias son provocadas al contacto con el petróleo crudo en el sedimento, cambiando las condiciones de ácidas a alcalinas; propiciando la acumulación del petróleo del material particulado, teniendo menor área libre para el flujo del agua entre las partículas (ocasionando mayor tiempo de residencia del agua con baja disponibilidad de oxígeno disuelto).

Esto es atribuido a que autores como Rogers *et al.*, (1991) y Saenger (2002) indican que en general la velocidad del flujo del agua intersticial es muy baja; disminuyendo aun más al contacto y acumulación del petróleo crudo en el sedimento. Asimismo, Adams *et al.*, (2008), señalan que los cambios producidos en el pH, indican un deterioro en la calidad de los manglares, al reducir la capacidad de humectación del suelo, por la meteorización que permanece en el sedimento, causando la muerte de la vegetación, así como efectos de residencia a largo plazo. Del mismo modo, el autor Chunlong *et al.*, (2003), menciona que los compuestos de los HAP's a largo plazo, representan una amenaza potencial en la calidad del ecosistema.

Debido a que cuando las condiciones ambientales favorecen la permanencia del hidrocarburo, los compuestos HAP's se liberan al agua circundante, estimulando la acumulación en el sedimento.

Con respecto, a la disponibilidad de oxígeno en el sedimento, para este estudio, se registró diferencia significativa solo en la plántulas de *Rhizophora mangle* en el dispositivo DCPC. Esto se atribuye a que es la especie que permanece más tiempo inundado y con mayor tiempo de residencia del agua; caso contrario para *Laguncularia racemosa* (blanco) y *Avicennia germinans* (negro). Sin embargo, se observó una disminución en los intervalos de oxigenación en el sedimento. Autores como DeLaune *et al.*, (1983); Boto *et al.*, (1984), enfatizan que los cambios que se dan en el potencial redox del sedimento se ve reflejado sobre el crecimiento, la supervivencia y capacidad competitiva de las plantas.

CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que existen causas y efectos en los procesos fisicoquímicos para las plántulas de *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*, durante el contacto, percolación y acumulación del petróleo en la turba del mangle. Esto a su vez se ven afectados por la acumulación del petróleo crudo en el biofiltro. Estableciéndose condiciones alcalinas y oxicohipoxica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los resultados obtenidos del proyecto: “Lineamientos básicos para los programas de restauración, manejo sostenido y caracterización de los efectos tóxicos de petróleo en plántulas de manglar” financiado por CONAFOR – CONACYT., a los que se agradece el apoyo en la realización de estos proyectos, así como también la colaboración del Laboratorio de Humedales Costeros con especialidad en manglares en el Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México de la Universidad Autónoma de Campeche.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, R. H., J. Zavala Cruz y F. Morales García. 2008. Hidrocarburos en suelos del trópico: Afectación a la fertilidad y su recuperación. *Interciencia*. **33**:483-489.

- Baumard, P., H. Budzinski, P. Garrigues, J.F. Narbonne, J. Burgeot y T. Michel. 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) burden of mussels (*Mytilus* sp.) in different marine environments in relation with sediment PAH contamination, and bioavailability. *Marine Environmental Research*. 47 (5): 415-439.
- Beg, M. U., T. Saeed, S. Al-Muzaini, K. R. Beg, T. Al-Obaid y A. Kurian. 2001. Extraction, fractionation, and toxicity determination of organic contaminants in sediment from coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67: 881-888.
- Boto, K. and Wellington, J. 1984. Soil characteristics and nutrient status in a northern Australian mangrove forest. *Estuaries* 71: 61-66.
- Calva, L.G.B. 1997. Hidrocarburos Fósiles en Lagunas Costeras. *Contactos, 3ra. Época*, 21:16-22.
- Chunlong, Z. Z., H.G. Gregory & L. George. 2003. *Potential PAH release from contaminated sediment in Galveston Bay-Houston Ship Channel*. University of Houston-Clear Lake, Environmental Institute of Houston. Annual Report.
- DeLaune, R. D., C. J. Smith, and W. H. Patrick, Jr. 1983. Relationship of Marsh Elevation, Redox Potential, and Sulfide to *Spartina Alterniflora* Productivity. *Soil Sci. Soc. American. Journal*, 47: 930-935.
- Field, C. 1996. *La restauración de ecosistemas de manglar*. Sociedad Internacional para Ecosistemas de Manglar. Okinawa, Japón. 227 pp.
- Frignani, M., L.G. Belluci, M. Favotto y S. Albertazii. 2003. Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the Venice Lagoon. *Hidrobiología* 494: 283-290.
- Huntley, S., N. Bonnevie, R. Wenning y H. Bedbury. 1995. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's) in tree northern new jersey waterways. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 51: 865-872.
- Libes, S. M. 1992. *An Introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. New York, U.S.A. 734 pp.
- Manahan S., E. 2007. *Introducción a la química ambiental*. 3ª. Ed. Reverté, España. 303-335 pp.

- Mazda, Y., H. Yokoch and Y. Sato. 1990. Groundwater Flow in the Bashita-Minato. Mangrove Area, and it's Influence on Water and Bottom Mud Properties Estuarine. *Coastal and Shelf Science*, 31: 621-638.
- Neff, M.F. 1979. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in aquatic environment. Sources, Fates and Biological Effects. *Applied Science Publisher*. U.K. 262 pp.
- Olguín, E.J., Hernández, M.E. y Sánchez- Galván G. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburo y estrategias de Biorremediación, Fitorremediación y Restauración. *Rev. Int. Contam. Ambient.* Vol. 23 (3): 139-154.
- Piña-Barragán, P. 2006. *Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en Sedimentos de las Lagunas la Grande y la Chica, Veracruz*. Trabajo de Servicio Social. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa, Veracruz, México. 35 pp.
- Ponce-Vélez, G., y Botello, A. V. 2005. Niveles de Hidrocarburos en el Golfo de México. In: *Contaminación e Impacto ambiental: Diagnostico y tendencias*. 2a. ed. Botello, A. V., J. Rendón- von O., G. Gold -Bouchot y, C. Agraz Hernández (eds.). Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 261-268 pp.
- Quetz, L., Memije M., Benítez, J., y Rendón- von Ostén J. 2009. Hidrocarburo aromático policíclico (HAP's) en sedimentos del rio y costa de Champoton, Campeche. *Revista JAINA*, Boletín Inf. Vol.20 No.2. 27-35 pp.
- Rogers K.H. Breen P.F. y Chick A. J. 1991. Nitrogen removal in experimental wetland treatment systems: evidence for the role of aquatic plants. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*. 63: 934-941.
- Saenger, P. 2002. *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*. Kluwer Academic Publishers. ISBN 1-4020-0686-1. 359 pp.
- Simpson, C.D.; Mosi AA; Cullen WR, Reimer KJ. 1996. Composition and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surficial marine sediments from Kitimat Harbour, Canada. *Sci Total Environ*, 181: 265-278.

- Verrhiest, G., B. Clément, y G. Blake. 2001. Single and combined effects of sediment-associated PAHs on three species of freshwater macroinvertebrates. *Ecotoxicology*, vol. 10:363-372.
- Wolanski, E., Y. Mazda. y P. Ridd. 1999. Mangrove Hydrodynamics. In: *Mangrove Ecosystems in Tropical America*, A. Yañez- Arancibia and A. L. La-Dominguez. Eds. NOAA/NMFS. 380 pp.

CONTAMINACIÓN POR AGROQUÍMICOS DEL AGUA SUPERFICIAL DEL VALLE DEL CARRIZO, SINALOA, A TRAVÉS DE DRENAJE AGRÍCOLA CON DESCARGAS AL GOLFO DE CALIFORNIA

**María Guadalupe Ibarra Ceceña
Erasmó Miranda Bojórquez**

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el empleo excesivo de agroquímicos que transporta la lluvia o el agua de riego, es un tipo de contaminación que ha empezado a cobrar una alta importancia ya que está provocando concentraciones elevadas de nitritos y nitratos en aguas superficiales y subterráneas (González, 1990), así como residuos de pesticidas en aguas superficiales y descargas al mar.

El distrito de riego 076, Valle del Carrizo no es ajeno a la problemática de degradación de los recursos naturales, principalmente referido al uso y manejo de los cuerpos de agua y la contaminación de las aguas superficiales del valle que pone en riesgo el ecosistema natural de la zona que son utilizados como áreas de recreación, y en particular para las aguas de riego agrícola y uso doméstico, así como el agua de la presa que es utilizada como fuente de abastecimiento para agua potable, generando problemas de salud provocados por agentes contaminantes en el agua, suelo y aire, así como la desaparición de especies nativas y migratorias, tanto de la flora como de la fauna.

Uno de los factores más importantes en la contaminación agrícola, es el desconocimiento de los sectores involucrados directamente y de la población en general sobre la magnitud del problema, el cual se deberá tomar en cuenta en la elaboración de los programas de prevención. Debido a la multitud de factores que intervienen en esta situación, es necesaria la participación de distintos organismos y técnicos de diversos campos, con el fin de profundizar

los conocimientos sobre el tema, así como elaborar nuevas prácticas agrícolas beneficiosas.

El objetivo de este trabajo consistió en determinar la posibilidad de que los productores del Valle del Carrizo puedan disminuir los costos de producción en el cultivo del maíz blanco mediante la reducción del uso de plaguicidas y fertilizantes, disminuyendo a su vez el daño ambiental. Para lograr eso se tiene que caracterizar el uso de fertilizantes, plaguicidas y el contexto socioeconómico en que se desarrolla la producción e identificar los plaguicidas con mayor riesgo ambiental y la cantidad aplicada de los mismos en el cultivo del maíz que es el que prevalece en el Valle del Carrizo.

Las decisiones que deben adoptarse en el sector de la agricultura para combatir la contaminación debida a fuentes agrícolas no puntuales pueden situarse en diversos planos. Sobre el terreno, las decisiones dependen de factores muy locales, como el tipo de cultivos y las técnicas de aprovechamiento de la tierra, en particular la utilización de fertilizantes y plaguicidas. Estas decisiones deben inspirarse en las prácticas más adecuadas de ordenación que permitan las circunstancias locales, y el objetivo debe ser multiplicar la rentabilidad económica de los agricultores sin olvidar la protección del medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, Sinaloa, se creó mediante Acuerdo Presidencial de fecha 8 de junio de 1965 y se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 30 de junio del mismo año, iniciando su operación en 1969 con una superficie regable de 45,900 hectáreas. El área dominada por las obras (área bruta) es actualmente de 47,000 hectáreas. En la Figura 1 se muestra la distribución de los diferentes módulos de riego que forman parte del área de estudio.



Figura 1. Plano General del Distrito de Riego 076. Fuente: S. R. L. 076, Valle del Carrizo, 2006.

La metodología que se utilizó fue de carácter descriptiva-explicativa. Siguiendo el análisis descriptivo, se seleccionaron las variables o características que son relevantes para la descripción de el Distrito de Riego mencionado y la caracterización y tipología de productores, y es explicativa al predecir el comportamiento de los plaguicidas y fertilizantes en las aguas superficiales.

Para verificar si la encuesta propuesta era funcional, se procedió a realizar un “Pre-Test de la encuesta” a un grupo reducido de cinco productores, seleccionando uno por cada modulo de riego del universo de estudio.

El cuestionario para la encuesta a los productores contiene 80 preguntas que indagan sobre diversos aspectos socio productivos y ambientales, para evaluar el conocimiento básico sobre agroquímicos que tiene el productor de maíz.

Las variables manejadas en el caso de los productores son las sociales: sexo, la edad, nivel de escolaridad, las físicas y económicas consideradas son: la superficie de suelo, sistema de riego, patrón de cultivos, beneficios o apoyos, comercialización de los productos, las variables productivas a considerar fueron

el rendimiento, origen de los insumos y productos, y las ambientales que se analizaron fueron: tipos de plagas, equipos de protección personal en el manejo y aplicación de agroquímicos, tipos de pesticidas y fertilizantes entre otras; y la disposición a pagar como instrumento de valorización.

Universo de estudio.

El universo se definió a partir del listado de permisos de siembra de los cinco módulos de riego proporcionados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), tomando en cuenta el total de la superficie sembrada de maíz que fue de 33,771.73 ha. para el ciclo otoño-invierno 2007-2008.

Muestra.

Para calcular el tamaño de la muestra se tomó como base un diseño de muestreo estratificado y se fraccionó la muestra total (n) en cinco partes, una parte para cada módulo de riego para que hubiera un balance, utilizando la fórmula para población finita de 33, 771.73 ha. de superficie sembrada de maíz con un nivel de confianza ($Z= 97.4\%$) y un margen de error ($e= 2.6\%$); obteniendo un valor de $n= 1729.35$ hectáreas, y en total se encuestaron 1757.5 hectáreas en predios cuyas superficies fluctuaron entre 7.5 y 135 hectáreas.

Muestreo de aguas superficiales.

Para el monitoreo de las aguas superficiales de drenes colectores y descargas al mar, se siguieron los siguientes criterios:

Las técnicas de muestreo son recomendaciones de especialistas del *British Geological Survey* (BGS), las cuales coinciden con las propuestas por US-EPA y que además son utilizadas por el *Arizona Department of Environmental Quality* en los Estados Unidos.

Las técnicas para el análisis de plaguicidas y fertilizantes fueron recomendadas por el Laboratorio de Exámenes Especiales del Instituto Tecnológico de Sonora, lugar donde se efectuaron los análisis. Para el análisis de plaguicidas se utilizó el método de Cromatografía de gases y para el análisis de fertilizantes el método NMX-AA-026-SCFI-2001 para N-Total; NMX-AA-029-SCFI-2001 para P-Total y, para nitratos y nitritos el método de brucina y reducción de cadmio.



Figura. 2. Mapa satelital del Valle del Carrizo con las coordenadas UTM de los puntos de muestreo. Fuente: Google Earth. 2010.

Las muestras se tomaron en 20 puntos del Distrito de Riego 076 Valle del Carrizo, 18 en los principales cruces de drenes colectores y calles principales del Valle y 2 descargas al mar como se muestra en la Figura 2.

Para identificar los puntos de muestreo se seleccionaron los puentes de cruce de drenes colectores con las principales calles del Distrito de Riego 076 georeferenciados con GPS, como lo son la calle 800, la calle 400 y la carretera Internacional México 15, más dos puntos de descarga al mar, uno al norte del Distrito que fue la descarga a la Bahía de Agiabampo y otro al sur que fue la Bahía de Jitzamuri, donde descargan los drenes colectores del Carrizo y Barobampo respectivamente como muestra el Cuadro 1.

Cuadro 1. Puntos de muestreo en el Valle del Carrizo

P.M.	LOCALIZACIÓN	P.M.	LOCALIZACIÓN
1	Calle 800 y Dren Ej. Revolución Mex. 12705069E y 2911504N; 38 M	11	Calle 400 y Dren Col. Carranza y Reforma 12700848E y 2911744N; 21 M
2	Calle 800 y Dren Ej. Palo Verde 12704907E y 29NI63N; 36 M	12	Carretera Internacional y Dren colector Carranza y Reforma 12.696511E y 2911180N; 16 M
3	Calle 800 y Dren colector Jahuara 12703140E y 2903609N; 25 M	13	Carretera Internacional y Dren Colector Carrizo. 12695208E y 2906064N; 5 M
4	Calle 800 y Dren Colector Metate 12701815E y 2010197N; 23 M	14	Carretera Internacional y Dren Colector Jahuara. Puente SARH IV 12.694894E y 2904810N; 3 M
5	Calle 800 y Dren Colector Balacachi 12699540E y 2888762N; 18 M	15	Carretera Internacional y Dren Colector Metate. Puente SARH III 12.694164E y 2897075N; 2 M
6	Calle 800 y Dren Colector Cerro Prieto 12700146E y 2891275N; 16 M	16	Carretera Internac. y Dren C. Balacachi. 12.694577E y 2895455N; 3M
7	Calle 800 y Dren Colector Zapata 12700903E y 2894432N; 15 M	17	Carretera Internacional y Dren Colector Cerro Prieto. Puente SARH II 12.695921E y 2890294N; 7M
8	Calle 400 y Dren Colector Metate 12697240E y 2896766N; 13 M	18	Carretera Internacional y Dren Colector Barobampo. Puente SARH I 12.697050E y 2886074N; 22M
9	Calle 400 y Dren Colector Jahuara 12698705E y 2902805N; 9 M	19	Descarga Dren Colector Barobampo al mar (Bahía de Jitzamuri) 12.688997E y 2889172N; 0M
10	Calle 400 y Dren Colector Carrizo 12-699687E y 2906853N; 11 M	20	Descarga Dren Colector Carrizo al mar (Bahía de Agiabampo) 12.690348E y 2912597N; 3M

P.M.: Punto de muestreo Fuente: elaboración propia. 2008.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Pesticidas utilizados: Los pesticidas más utilizados en el cultivo del maíz son el dimetoato (insecticida organofosforado, Categoría Toxicológica III), clorotalonil (fungicida, Categoría Toxicológica IV), glifosato (herbicida, Categoría Toxicológica IV) y metamidofos (insecticida acaricida organofosforado, Categoría Toxicológica IB) principalmente, donde el consumo total en las 33,771.73 hectáreas de maíz la dosis de dimetoato fue de 42,383.5 L., de clorotalonil de 52,008.5 L., de glifosato de 63,322 L. y 62,477.7 L. de metamidofos (Cuadro 2).

Fertilizantes usados: La superficie total de maíz en el ciclo Otoño-Invierno 2007/08 fue de 33,771.73 ha. que representan el 76.6% de la superficie total del Distrito 076 Valle de El Carrizo, donde el consumo total de fertilizantes nitrogenados fue de 12,397.6 toneladas y de fertilizantes fosforados de 2,565.7 toneladas. Con una aplicación promedio de 367.1 kg./ha/ciclo de nitrógeno y

70.05 kg./ha./ciclo de fosforo y potasio (Cuadro 3).

Cuadro 2. Plaguicidas utilizados

PLAGUICIDAS UTILIZADOS	Tipo	Categoría Toxicológica	Dosis promedio (lt/ha)	Total de plaguicida aplicado Lt.
Dimetoato	insecticida organofosforado	III	1.25	42,383.5
Clorotalonil	Fungicida	IV	1.54	52,008.5
Glifosato	Herbicida	IV	1.87	63,322.0
Metamidofos	Insecticida acaricida organofosforado	IB	1.85	62477.7

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3. Fertilizantes utilizados

FERTILIZANTES UTILIZADOS	Dosis promedio (Kg/ha)	Total de fertilizante aplicado
Nitrógeno	367.1	12,397.6
Fosforo	70.05	2,565.7
Potasio	70.05	2,565.7
Total	100	

Fuente: Elaboración propia

Comparativo de medias de fertilizantes aplicados en el cultivo del maíz blanco con las recomendaciones del INIFAP.

En el Valle de El Carrizo, Sinaloa, en el ciclo 0-I 2007/08 para el cultivo de maíz blanco, la dosis promedio de fertilizantes aplicado como se muestra en el Cuadro 4, rebasó las dosis recomendadas para la zona por el INIFAP.

Cuadro 4. Estadísticas descriptivas de la aplicación de fertilizantes.

Variable	Conteo	Media	Mediana	Desv. Est.	Varianza	Coef. Var	Suma	Mínimo	Máximo	Rango
Nitrógeno	100	367.1	350	24.58	604.13	6.70	36710.00	350.00	450.00	100
Fosforo	100	70.05	80	19.26	370.96	27.49	7005.00	45.00	115.00	70.00
Potasio	100	70.05	80	19.26	370.96	27.49	7005.00	45.00	115.00	70.00

Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó 367.1 kg. /ha de nitrogenado como se muestra en la Figura 3, es decir 46.8% más de lo recomendado que es de 250 kg. /ha. Si comparamos las medias queda muy dispersa la media del INIFAP de la obtenida en el análisis estadístico.

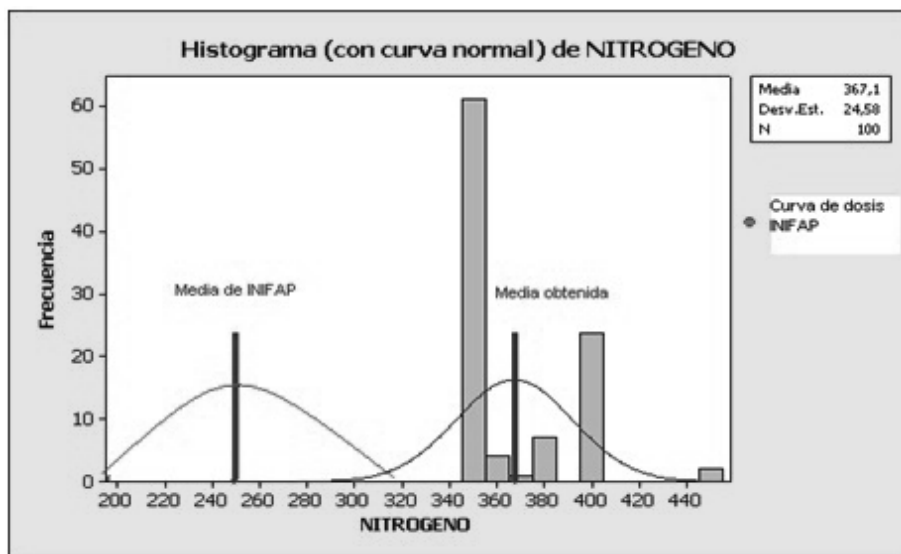


Figura 3. Gráfica de media de nitrógeno. Fuente: Datos obtenidos de encuestas.

Para el fósforo la dosis promedio aplicada al maíz fue de 70.05 kg. /ha como se muestra en la figura 4, un 40.1% más de lo recomendado que es de 50 kg. / ha. Si comparamos las medias hay discrepancia entre la media del INIFAP y la obtenida en el análisis estadístico.

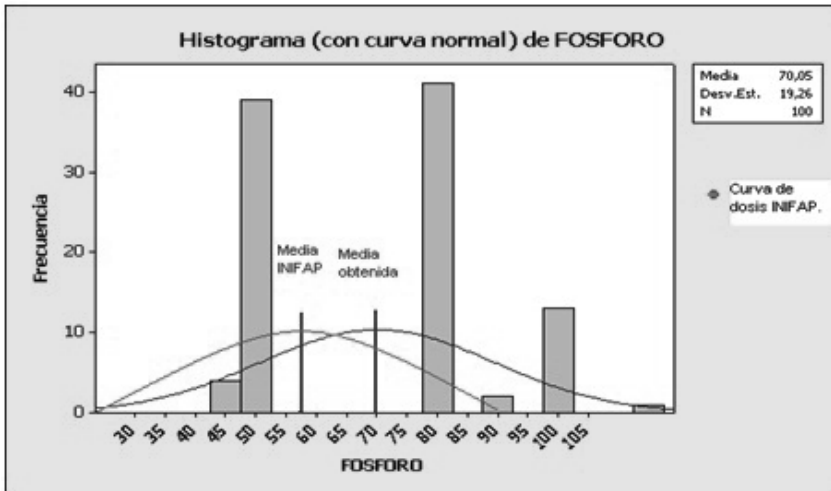


Figura 4. Gráfica de media de fósforo. Fuente: Datos obtenidos de encuestas.

Y para el potasio la dosis promedio aplicada al maíz fue también de 70.05 kg./ha como se muestra en la figura 5, un 40.1% más de lo recomendado que es de 50 kg./ha. Si comparamos las medias hay discrepancia entre la media del INIFAP y la obtenida en la muestra. Por lo tanto como se aprecia en el Cuadro 6, si cuantificamos el excedente en kilogramos de cada uno de los insumos de fertilización en gasto, tenemos que se desperdicia \$1112.45 por hectárea en nitrógeno, \$250.625 por hectárea en fósforo y \$108.27 por hectárea en potasio, haciendo un total de \$1471.345 por hectárea en fertilizantes lo que podemos economizar en promedio.

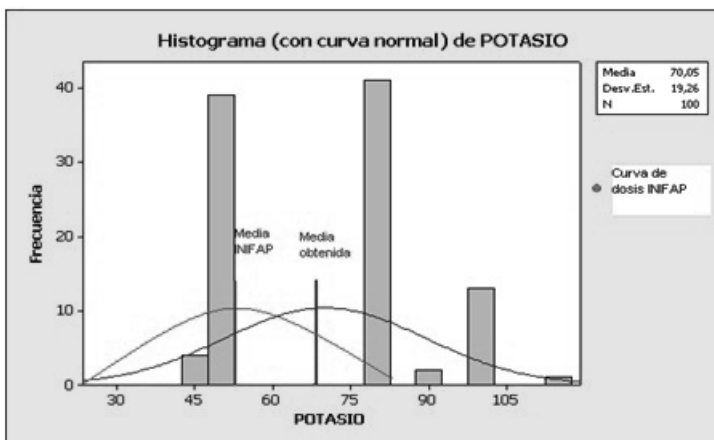


Figura 5. Gráfica de media de potasio. Fuente: Datos obtenidos de encuestas.

Cuadro 5. Comparación de medias de resultados obtenidos y recomendaciones de INIFAP.

VARIABLE	Media obtenida	Media INIFAP	Excedente Kg/ha.	Excedente %	Costo unitario \$/Kg.	Desperdicio \$/ha.
Nitrógeno	367.1	250.0	117.1	46.8%	9.50	1112.45
Fosforo	70.05	50.0	20.05	40.1%	12.50	250.625
Potasio	70.05	50.0	20.05	40.1%	5.40	108.27
<i>Ahorro promedio en fertilizantes: \$1,471.345 por hectárea.</i>						

Fuente: Elaboración propia

Medias de plaguicidas aplicados en el cultivo del maíz blanco como control de plagas.

En el Cuadro 6 se muestra los datos estadísticos como las medias respectivas de cada uno de los plaguicidas más utilizados en el cultivo del maíz blanco sin poder realizar un comparativo de medias, ya que no existen recomendaciones para las dosis aplicadas de plaguicidas por parte del INIFAP.

Cuadro 6. Estadísticas descriptivas de aplicación de plaguicidas.

Variable	Conteo	Media	Mediana	Est.	Varianza	Var	Suma	Mínimo	Máximo	Rango
<u>Dimetoato</u>	100	1.255	1.25	0.2611	0.0682	20.80	125.5	1.00	2.00	100
<u>Metamidofos</u>	100	1.850	2.0	0.3371	0.1136	18.22	185.0	1.50	3.00	1.50
Glifosato	100	1.875	2.0	0.3046	0.0928	16.25	187.50	1.50	2.50	1.50

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 6, muestra un promedio 1.255 L /ha de dimetoato, a un costo de \$100.00 el litro da un costo de \$125.50 por hectárea sin tomar en cuenta el de aplicación.

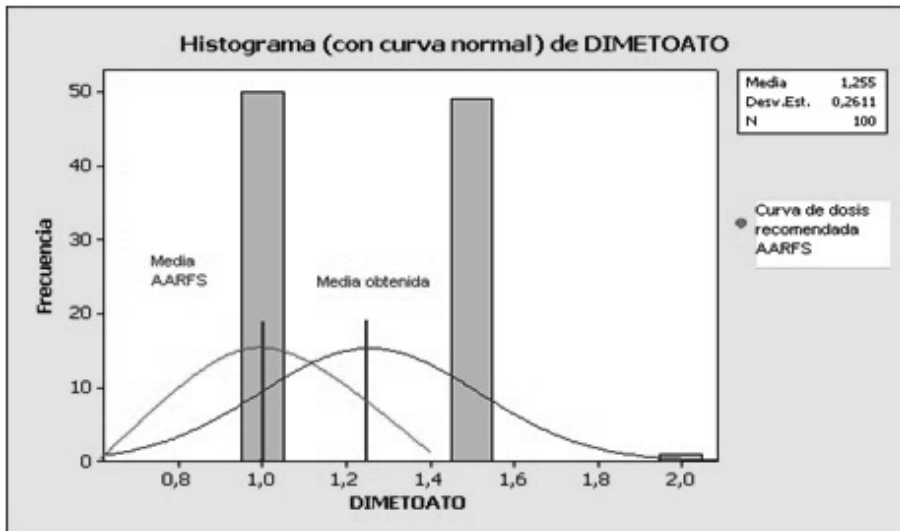


Figura 6. Gráfica de media de dimetoato. Fuente: Datos obtenidos de encuestas.

Como se muestra en la Figura 7, se aplicó en promedio 1.85 lt. /ha de metamidofos, a un costo de \$110.00 el litro equivale a un costo de \$203.50 por hectárea sin tomar en cuenta el costo de aplicación.

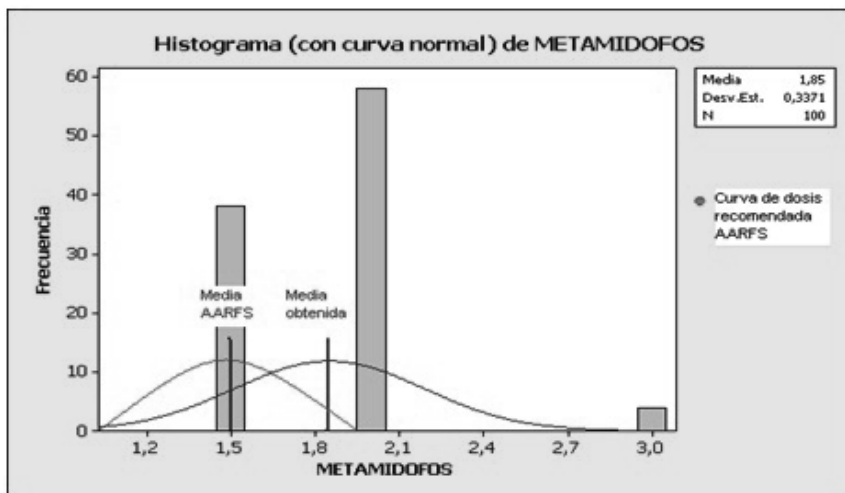


Figura 7. Gráfica de media de metamidofos. Fuente: Datos obtenidos de encuestas.

Como se muestra en la Figura 8, se aplicó en promedio 1.875 L /ha de glifosato, a un costo de \$218.00 el litro equivale a un costo de \$408.75 L por hectárea sin tomar en cuenta el costo de aplicación.

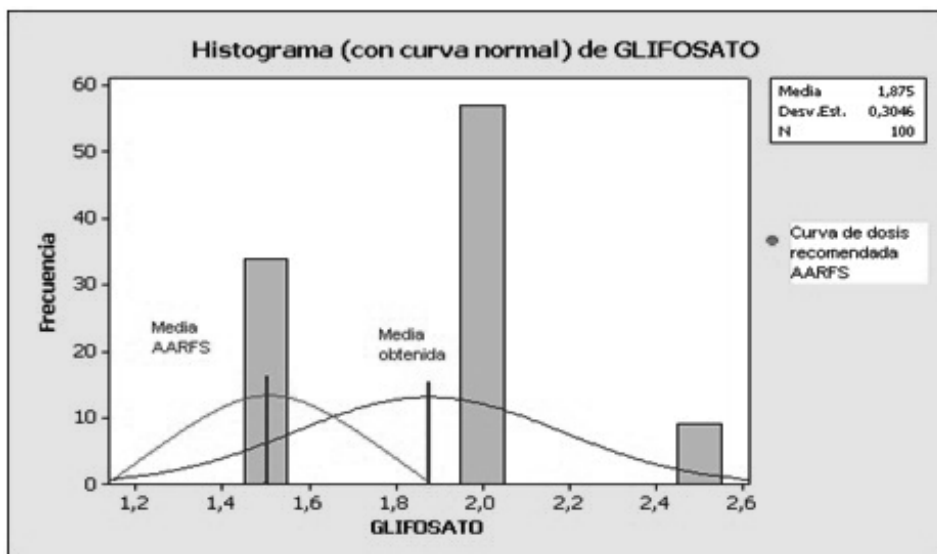


Figura 8. Gráfica de media de glifosato. Fuente: Datos obtenidos de encuestas.

Por lo tanto como se aprecia en el Cuadro 7, si cuantificamos el excedente en litros de cada uno de los insumos de plaguicidas en gasto, tenemos que se desperdicia \$25.50 por hectárea de dimetoato, \$38.50 por hectárea de metamidofos y \$190.75 por hectárea de glifosato, haciendo un total de \$354.75 por hectárea en plaguicidas lo que podemos economizar en promedio.

Cuadro 7. Comparación de medias de resultados obtenidos y recomendaciones de AARFS con costos.

VARIABLE	Media obtenida	Media AARFS	Excedente L/ha.	Excedente %	Costo Unitario \$/L.	Desperdicio \$/ha.
Dimetoato	1.255	1.0	0.255	25.5%	100.00	25.50
Metamidofos	1.850	1.5	0.350	23.33%	110.00	38.50
Glifosato	1.875	1.0	0.875	87.5%	218.00	190.75
Ahorro promedio en plaguicidas: \$354.75 por hectárea.						

Fuente: Elaboración propia

Resultados de agroquímicos en las aguas superficiales del Valle del Carrizo Fertilizantes

El Cuadro 8 muestra los resultados de nitrógeno total y fósforo total en el agua residual de drenes colectores del Valle del Carrizo según resultados de laboratorio.

También el Cuadro 8 muestra como en todos los puntos de muestreo se rebasa en gran medida la norma NOM-001-ECOL-1996 para los LMP de nitrógeno total que es de 15 mg/L y en cambio para el fósforo total, que tiene como LMP 5 mg/L no se rebasa en ningún punto.

Cuadro 8. Resultados de laboratorio de residuos de nitrogenados en el agua

M	mg/L						
	N-NH ₃	N-Org	Nitratos N-NO ₃	Nitritos N-NO ₂	N-Tot.	Excedente N-Tot.	P-Total
1	0,85	0,84	84,02	0,55	86,26	71,26	0,14
2	0,67	0,73	78,9	11,15	91,45	76,45	0,16
3	2,13	1,46	38,31	11,92	53,82	38,82	0,18
4	1,18	0,78	152,8	5,43	160,19	145,19	0,24
5	0,0	0,95	95,97	0	96,92	81,92	0,22
6	0,34	0,45	88,3	1,81	90,9	75,9	0,26
7	0,73	0,50	50,39	11,27	62,89	47,89	0,29
8	0,73	0,45	104,77	3,11	109,06	94,06	0,14
9	1,74	0,73	114,92	7,99	125,38	110,38	0,11
10	1,90	0,96	128,68	0	131,54	116,54	0,03
11	0,90	0,90	60,6	5,78	68,10	53,10	0,08
12	1,85	0,67	98,61	9,41	110,54	95,54	0,14
13	1,85	0,00	104,42	6,97	113,24	98,24	0,21
14	0,28	0,56	102,13	3,5	106,47	91,47	0,17
15	0,45	0,78	106,12	2,22	109,57	94,57	0,06
16	2,24	1,46	84,5	5,89	94,09	79,09	0,14
17	1,18	1,46	206,71	7,42	216,77	201,77	0,21
18	5,21	1,06	86,92	15,9	109,09	94,09	0,71
19	0,06	0,45	84,22	0,39	85,12	70,12	0,06
20	2,07	1,06	158,77	9,66	171,56	156,56	0,10

Fuente: elaboración propia con resultados del Centro de Servicios de Recursos Naturales. Instituto Tecnológico de Sonora. (2008).

Plaguicidas.

No pudieron buscarse los residuos de los plaguicidas más usados en el cultivo del maíz como el metamidofos, dimetoato, clorotalonyl y glifosato, en las muestras de agua, ya que la infraestructura de los laboratorios no permitió hacerlo; sin

embargo aparecieron residuos de otros plaguicidas persistentes como el dieldrin, clordano A, metoxicloro y malatión, que a pesar del paso de los años siguen apareciendo o tal vez se sigan vendiendo en el mercado negro porque su venta está prohibida (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados de laboratorio de residuos de plaguicidas en el agua.

M	mg/L						
	N-NH ₃	N-Org	Nitratos N-NO ₃	Nitritos N-NO ₂	N-Tot.	Excedente N-Tot.	P-Total
1	0,85	0,84	84,02	0,55	86,26	71,26	0,14
2	0,67	0,73	78,9	11,15	91,45	76,45	0,16
3	2,13	1,46	38,31	11,92	53,82	38,82	0,18
4	1,18	0,78	152,8	5,43	160,19	145,19	0,24
5	0,0	0,95	95,97	0	96,92	81,92	0,22
6	0,34	0,45	88,3	1,81	90,9	75,9	0,26
7	0,73	0,50	50,39	11,27	62,89	47,89	0,29
8	0,73	0,45	104,77	3,11	109,06	94,06	0,14
9	1,74	0,73	114,92	7,99	125,38	110,38	0,11
10	1,90	0,96	128,68	0	131,54	116,54	0,03
11	0,90	0,90	60,6	5,78	68,10	53,10	0,08
12	1,85	0,67	98,61	9,41	110,54	95,54	0,14
13	1,85	0,00	104,42	6,97	113,24	98,24	0,21
14	0,28	0,56	102,13	3,5	106,47	91,47	0,17
15	0,45	0,78	106,12	2,22	109,57	94,57	0,06
16	2,24	1,46	84,5	5,89	94,09	79,09	0,14
17	1,18	1,46	206,71	7,42	216,77	201,77	0,21
18	5,21	1,06	86,92	15,9	109,09	94,09	0,71
19	0,06	0,45	84,22	0,39	85,12	70,12	0,06
20	2,07	1,06	158,77	9,66	171,56	156,56	0,10

Fuente: elaboración propia con resultados del Centro de Servicios de Recursos Naturales. Instituto Tecnológico de Sonora. (2008). N.D. = No detectado. Las muestras que no se incluyen en la tabla son porque no se detectó ningún residuo.

CONCLUSIONES

Se aplica una gran cantidad de fertilizantes y plaguicidas, lo que repercute en la calidad del agua residual del riego, lo cual es un riesgo para la salud de la población expuesta, ya que la mayoría de las poblaciones ejidales del Valle del Carrizo, utilizan el agua superficial de los canales de riego para uso doméstico, recreativo y en algunos casos para beber; resultando más vulnerables unas zonas que otras.

En el Valle de El Carrizo, Sinaloa, en el ciclo 0-I 2007/08, uno de los cultivos principales fue el maíz, mismo que se sembró en una superficie de 33,771.73 ha.

que representan el 73.6% de la superficie total. En este cultivo la dosis promedio de fertilizante nitrogenado aplicado fue de 367.1 kg. /ha, es decir 46.8% más de lo que recomienda INIFAP para la zona que es de 250 kg. /ha. Para el fósforo y el potasio la dosis promedio aplicada al maíz es de 70.05 kg. /ha, un 40.1% más de lo recomendado por el INIFAP para la zona que es de 50 kg. /ha. Por lo tanto se acepta la primera hipótesis de que se está rebasando la dosis recomendada por INIFAP.

Los resultados de este estudio sobre el análisis de agua de uso agrícola, tiene el valor de un resultado indicativo. Se encontraron valores de concentración muy elevados para el nitrógeno total en forma de nitritos y nitratos, los cuales rebasan la NOM-001-ECOL-1996 para descargas residuales tomando en cuenta que todas las descargas van a parar al Mar de Cortés; así como algunos plaguicidas que se utilizaban hace alrededor de 25 años en el cultivo del algodón y que todavía persisten como el dieldrin, clordano, metoxicloro y malatión, por lo tanto se acepta la segunda hipótesis de que hay contaminación por abonados nitrogenados y plaguicidas en las aguas superficiales del Valle del Carrizo.

Se determina la posibilidad de asegurar que los productores de este Valle pueden disminuir sus costos de producción en \$1471.345 por hectárea y \$1849.00 por tonelada, esto mediante la reducción de las dosis de aplicación de fertilizantes, lo cual disminuirá el costo de producción por hectárea de \$20,701.00 a \$19,229.65 por hectárea de maíz cultivada y el costo de producción por tonelada se reduce de \$2,134.00 a \$1849.00 por cada tonelada de maíz blanco producido; por lo tanto se acepta la tercera hipótesis de que podemos reducir los costos de producción. La mayoría de los plaguicidas utilizados son productos que van de alta a levemente tóxicos, pertenecientes a las clases IB, III y IV de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). Sus compuestos son tóxicos tanto para el hombre como para la vida silvestre. A los volúmenes excesivos aplicados se agregan malas prácticas agrícolas -como las aplicaciones incorrectas o el abuso- lo que agrava el problema.

Los resultados obtenidos en este estudio sirven como base de datos para predecir escenarios futuros, así como también para poder formular estrategias de mejoramiento ambiental.

El estudio muestra que a pesar de que el productor tiende a ser racional termina

subutilizando factores de producción, en este caso el factor capital, ya que sus costos por labores de fertilización y control de plagas están por encima del mínimo, ya que aplica más de lo debido comprometiendo su eficiencia y competitividad, así como la sustentabilidad de la agricultura.

El punto más vulnerable y que más incide en propiciar un alto riesgo de contaminación, lo presenta el hecho de que no se encuentra regulado el uso de nitrógeno como fuente de fertilización, es decir no existe ninguna restricción que evite a los productores, aplicar los volúmenes de fertilizantes que consideren necesarios.

La incorporación de diversas fuentes nitrogenadas al sistema agua-suelo, pone en riesgo a los acuíferos y consecuentemente se puede afectar la calidad del agua potable por nitratos, con posibilidades de ocasionar problemas de salud pública, si se excede la norma de 10 ppm que corresponde al límite máximo permisible (LMP) según la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994.

BIBLIOGRAFÍA

American Water Works Association (AWWA), American Public Health Association (APHA), Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Water pollution Control Federation (WPCF).- 14th Edition.

González, E. R. (1990). Contaminación por plaguicidas en el acuífero del Valle del Yaqui, Sonora, México. Tesis de Maestría en Ingeniería en Administración de Recursos Hidráulicos. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora. 80 p.

Ley de Aguas Nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 10 de diciembre de 1992.

Nathanson, Jerry A. (1997). Basic Environmental Technology. Water Supply, Waste Management, and Pollution Control. Upper Saddle River: Prentice Hall.

S. Environmental Protection Agency. (1984). Method 608 – Organochloride pesticides and PCBs. 40 CFR part. 136, 43321; Federal Register 49, n° 209.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Norma Mexicana .MX-AA-071-1981 “Análisis de agua- Determinación de plaguicidas órganoclorados Método de Cromatografía de gases”.

US-EPA. (1994). National Water Quality Inventory. 1992. Report to Congress. EPA-841-R-94-001. Office of Water, Washington, DC.

PROBLEMAS AMBIENTALES EN CHIAPAS

José Antonio Santiago Lastra
Miriam López Carmona
Mari Sandra Espinoza Guzmán
Maria Elena Moshán Álvarez
Juan Gabriel Gómez Hernández

INTRODUCCIÓN

El ser humano apareció recientemente en la historia de la tierra, pero ha sido capaz de alterar el medio con sus actividades, de acuerdo con sus necesidades, logrando escapar a las constricciones medioambientales. Hace 12,000 años aproximadamente la especie humana, al descubrir la agricultura y la ganadería, inicia una forma de interacción con el medio ambiente a la cual denominamos civilización. Este proceso de civilización ha sido tan diverso como las distintas culturas que lo han protagonizado, pero en todos los casos ha representado múltiples beneficios a las sociedades en términos de desarrollo y, en mayor o menor medida, dependiendo del modo de civilización, también un impacto negativo sobre el medio ambiente.

Hoy en día, las formas hegemónicas de civilización y los modos capitalistas de producción y consumo, han conducido al ser humano a una crisis global (Leff, 2008). Una parte importante de ésta crisis la constituyen los problemas ambientales, al grado que no sólo atentan en contra de estas formas de civilización, sino con la existencia de la propia especie humana.

Por esta razón resulta relevante analizar los problemas ambientales como una forma de interacción básica de las sociedades actuales con su medio ambiente. A lo largo del capítulo presentaremos cuál es el estado que guardan los problemas ambientales en el Estado de Chiapas. Sin ser un diagnóstico exhaustivo, se pretende hacer una reflexión que contribuya a avanzar en el conocimiento de la problemática ambiental, partiendo de diferenciar entre causas y efectos del deterioro ambiental. Así como presentar algunas de las posibles alternativas de solución que como sociedades humanas podemos emprender.

Causas del deterioro ambiental.

Existen numerosas causas del deterioro ambiental, todas ellas ligadas, directa o indirectamente, a la actividad humana. Cada uno de nuestros actos, por sencillo que parezca tiene una repercusión en los ecosistemas, que puede ser benéfica o negativa, de modo que debemos ser conscientes de lo que hacemos para no afectar a nuestro ambiente (Camacho, 2007). Dentro de las principales causas del deterioro ambiental se pueden mencionar las siguientes: consumo, modernización productiva y crecimiento poblacional. A lo largo de esta sección se explicará en más detalle el papel que desempeña cada una de ellas en el deterioro ambiental, con referencias específicas al contexto social y ambiental de Chiapas.

a) Consumo.

Los recursos, bienes y servicios de que nos servimos para satisfacer nuestras necesidades, son nuestro consumo, por lo tanto todos somos consumidores. Nuestra manera de consumir es parte de nuestra cultura. Sin embargo, hoy en día existe una forma excesiva de consumo fomentada por las grandes corporaciones capitalistas, que ha provocado problemas cada vez más complicados relacionados con el efecto de nuestro consumo sobre el medio ambiente (SEP, 2006).

La humanidad utiliza hoy entre el 30 y 50% de lo que produce el ecosistema global. Con ello, hemos transformado la faz del planeta más que ninguna otra especie y el ritmo de nuestras alteraciones sigue en aumento (Hayden, 2008). Por ejemplo, los cultivos ocupan más de 15 millones de kilómetros cuadrados en todo el mundo (la extensión de América del Sur) y los pastos para el ganado cubren el doble de superficie. Ambas actividades utilizan el 70% del consumo mundial de agua dulce, y de no usarse agroquímicos en estas superficies se estima que más del 40% de los cultivos se perdería (Valentin y Olvera, 2009). Únicamente el 17% de las tierras no congeladas del planeta se mantienen sin ningún uso u ocupación humana. El océano también está sobreexplotado, las especies de peces más apreciadas han reducido al 10% sus poblaciones históricas, algunas más allá de su capacidad natural de recuperación (Hayden, 2008). Para el caso de Chiapas, los datos existentes para el período comprendido entre 1975 y el año 2000 indican una expansión de la agricultura y la ganadería en cerca de un 60%, quedando los bosques, selvas y vegetación secundaria relegados a una extensión de poco más de 944,000 hectáreas lo cual representa el 13% del territorio estatal (Morales, 2009).

“Para que pudieran llegar las mercancías a la comunidad fue necesario abrir brechas, construir carreteras y por supuesto talar miles de árboles”. Juan Santiz Patistan, 45 años. Yaalhoc, Chamula, Chiapas. Entrevistado por Lorenzo Hernández Sántiz. Octubre, 2008.

La publicidad también desempeña un papel muy importante en el acto de consumir. La “cultura de lo desechable” no se hubiera instalado tan pronto en la sociedad sin la publicidad. Esta ha fomentado lo que llamamos *consumismo*. La publicidad nos induce a comprar más de la cuenta, haciéndonos pensar que necesitamos lo que se nos ofrece (SEP, 2006). Por regla general, cuanto más dinero tenemos, más consumimos y, por tanto, más residuos generamos y más daño al ambiente hacemos (Hayden, 2008). Actualmente, ser un consumidor responsable significa consumir de forma crítica, ética, sustentable y solidaria (SEP, 2006).

“La naturaleza proporcionaba todo, no había necesidad de adquirirlo con dinero, pero se fueron acabando los árboles por el uso inadecuado. Hoy el hombre ha cambiado su mentalidad y ha proliferado la idea de consumir”. Mateo Vázquez Méndez, 49 años. Nueva Esperanza, Tumbalá, Chiapas. Entrevistado por Griselda Vázquez Jiménez. Octubre, 2008.

Otro asunto relevante es la distribución de lo que se consume. Por ejemplo, el 80% de la energía y del agua potable en el mundo la consume el 12% de la población mundial, especialmente los países ricos. El agua y la energía son la fuente principal de producción. Sin ella, no sólo no habría fábricas ni comida, sino que no habría vida. Por el significado económico y el gran negocio que implicaría tener el control y lograr la comercialización del agua y la energía, el Banco Mundial así como el Fondo Monetario Internacional presionan a los gobiernos para privatizar la infraestructura que generan, distribuyen y comercializan estos recursos. Sin embargo, cuando se han dado las privatizaciones de estos servicios, los precios han aumentado, el servicio no ha mejorado y la cobertura sigue sin llegar a todos (Castro 2007).

A medida que se ha ido satisfaciendo el creciente consumo, se ha ido requiriendo

una mayor producción, lo que ha implicado una modernización productiva que ha sido ecológicamente destructiva, pues resulta incapaz de mantener los sistemas productivos por largo tiempo sin deteriorar la base de los recursos naturales (Toledo, 2000).

b) Modernización productiva.

Las unidades de producción campesina de los pueblos originarios de Chiapas se han caracterizado por un uso múltiple y diversificado de los recursos a través de sistemas de producción basados en un elevado empleo de la fuerza de trabajo, el uso de herramientas manuales y la escasa utilización de insumos industriales, enfocados fundamentalmente al autoabastecimiento familiar (Alemán *et al.*, 2002). De esta forma son una práctica ecológicamente adecuada y bien adaptada a las condiciones físico-bióticas del ambiente tropical, cargadas de un enorme acervo de conocimientos botánicos, zoológicos, hidrológicos, de suelos, etc. Se trata de miles de años de estrechos vínculos entre el conocimiento de los ciclos de la naturaleza y el uso de plantas y animales.

En el caso de la milpa –la siembra del maíz, frijol y calabaza- las áreas en descanso, lejos de ser tierras ociosas, como las concebía la visión occidental, son en realidad terrenos productivos con toda una gama de especies útiles, productos y servicios ofrecidos por las selvas en fase de regeneración natural. Además, este sistema tampoco supone una práctica destructiva, sino al contrario, favorece la biodiversidad (Boege, 2003). Pero, por mucho tiempo, los sistemas de producción tradicional fueron mal entendidos por la visión occidental. Por ejemplo el sistema de roza, tumba y quema practicado por los pueblos originarios del trópico americano fue considerado como una práctica agrícola ineficiente y destructiva. Bajo esta premisa, las agencias internacionales de desarrollo a través de las instituciones gubernamentales promovieron los paquetes tecnológicos y su ideología del progreso con base en el uso de energía fósil y mineral, a través de la maquinaria agrícola, las semillas mejoradas, los fertilizantes e insecticidas químicos y el transporte (Toledo, 2000).

“Sembrábamos milpa: maíz, frijol y calabaza, para que creciera bien se limpiaba con azadón no utilizábamos fertilizante era sólo la fuerza de la tierra. Hace como 15 o 20 años llegó el fertilizante y luego el líquido porque avanza luego el trabajo, pero no utilizábamos líquido antes, usábamos maíz natural y de

nuestra cosecha salía su semilla para sembrar otra vez”. Anatalio Hernández Gómez, 69 años. Campo Santiago, Teopisca, Chiapas. Octubre, 2008.

Al igual que para la gran mayoría de productores campesinos en México, con la aplicación estas estrategias de modernización agropecuaria, basadas en paquetes tecnológicos con insumos relativamente costosos y sólo disponibles en el mercado (Seefoó, 2005), y al cobrar cada vez más importancia las relaciones mercantiles (Estrada *et al.*, 2003), resulta que los sistemas tradicionales destinados a generar los productos para el autoabastecimiento han ido perdiendo importancia y están siendo sustituidos por sistemas de producción orientados al mercado (Montoya *et al.*, 2003).

“Antes sembraba todo natural, no se ponía químico. El trigo, el maíz y el durazno no se vendían sino más bien se intercambiaba con otras comunidades como Oxchuc, Tenejapa y Teopisca ... ahora ya no es así. A finales de 1965 se empezó a utilizar el fertilizante en los cultivos, después el insecticida, ahí fue donde todo se echó a perder ... trabajábamos en conjunto y se quebraba la tierra con juntas pero cuando entraron los agroquímicos se perdió este modo de trabajo”. Pedro Martínez Icó. 69 años. Yutaki, Huixtán, Chiapas. Noviembre, 2008.

En México, los campesinos fueron relegados a las zonas montañosas o a las tierras consideradas de baja calidad, de manera que en general, éstas son de temporal y tienen fuertes pendientes y suelos delgados (Moguel y Parra, 2003). Estas condiciones restringen las posibilidades de adoptar los paquetes tecnológicos de alto uso de insumos, lo que redundará en una muy baja productividad de los cultivos no tradicionales (Montoya *et al.*, 2003).

Por lo tanto, los sistemas tradicionales de producción agrícola que eran eficientes y equilibrados, tanto ecológica como socialmente, se deterioraron por la sobreexplotación y uso de sistemas productivos convencionales derivados del crecimiento poblacional y las exigencias del mercado. Esto también está provocando la desaparición del conocimiento tradicional en el manejo de los recursos naturales, un desequilibrio ambiental y la desarticulación de su anterior sistema productivo (Boege, 2003). También endeuda a los campesinos y los pone

a merced de intermediarios comerciales. Pero además, polariza a la población campesina entre los que logran mejorar sus ingresos con estas nuevas actividades y paquetes, y los que no pueden acceder a ellos o resultan empobrecidos en el proceso (Altieri *et al.*, 2001; Montoya *et al.*, 2003; Seefoó, 2005).

“Me gustaría que nuestra comunidad volviera sembrar con nuestro sistema tradicional, en donde no teníamos la necesidad de meter químicos para obtener grandes frutos. Yo sé que como campesinos quisiéramos tener dinero, y por la ambición, las tierras se han vuelto infértiles, ya la explotaron con los químicos. Antes nuestros productos del campo no sólo eran para la venta, sino también para el consumo propio. El trueque que nuestros antepasados llevaban a cabo, nosotros lo seguimos haciendo, y lo digo porque bajamos a Yajalón intercambiábamos elote por sal, o por chapay. Ahora me doy cuenta de que al aplicar químicos he matado mi tierra y las costumbres de mis antepasados”. Abelino Pérez, 68 años. Emiliano Zapata, Yajalón, Chiapas. Entrevistado por: Eleazar Pérez Encino. Noviembre, 2008.

La aplicación de este tipo de paquetes tecnológicos como estrategia de modernización agropecuaria, en las condiciones socioeconómicas y ambientales del sector campesino en Chiapas, no ha impulsado un verdadero desarrollo rural. Esta estrategia tiene escasa relación con la economía campesina, con sus necesidades y con la potencialidad de los recursos naturales con que cuentan para la producción. Ha sido adoptada por las familias campesinas y extendida hacia áreas cada vez más frágiles. Transforman a los campesinos en dependientes netos de insumos de alto costo (Altieri *et al.*, 2001) y puede tener serios efectos sobre la salud de productores y consumidores (Seefoó, 2005).

c) Crecimiento poblacional.

Aunque no necesariamente todas las grandes ciudades son focos de contaminación, ni las pequeñas comunidades son por completo amigables con el ambiente, es indiscutible que el tamaño de una población determina la cantidad de recursos necesarios y de desechos producidos (Camacho, 2007).

Las primeras ciudades aparecieron en las llanuras de Mesopotamia hace más de 9,000 años, pero el crecimiento demográfico se ha acelerado en los últimos

dos siglos de 1,000 millones de personas en el año 1800 a 6,600 millones en la actualidad (Figura 1) y para el año 2030 se estima un incremento de 1,700 millones de personas más. Ejemplo de ello son las veintiún megalópolis con más de 10 millones de habitantes cada una que existen hoy en día en el planeta (Cuadro 1). Esto ha dejado huellas profundas en el planeta (Hayden, 2008). El estado de Chiapas, de igual manera, presenta un ritmo de crecimiento demográfico acelerado, al pasar de 500 mil habitantes en el año de 1930 a poco más de 4 millones y medio de personas en la actualidad (Figura 2).

Cuadro 1. Las 10 ciudades del mundo con mayor número de habitantes y la estimación que hace la ONU de sus pobladores para el año 2015. Cifras en miles de habitantes (ONU; 2007).

Ciudad	1955	2005	2015
Tokio	13,710	35,200	35,500
Ciudad de México	3,800	19,400	21,600
Nueva York	13,220	18,700	19,900
Sao Paulo	3,030	18,300	20,500
Shangai	6,865	14,500	17,200
Buenos Aires	5,840	12,600	13,400
Los Ángeles	5,150	12,300	13,100
El Cairo	3,050	11,100	13,100
Pekín	4,950	10,700	12,900
Moscú	5,750	10,700	11,000

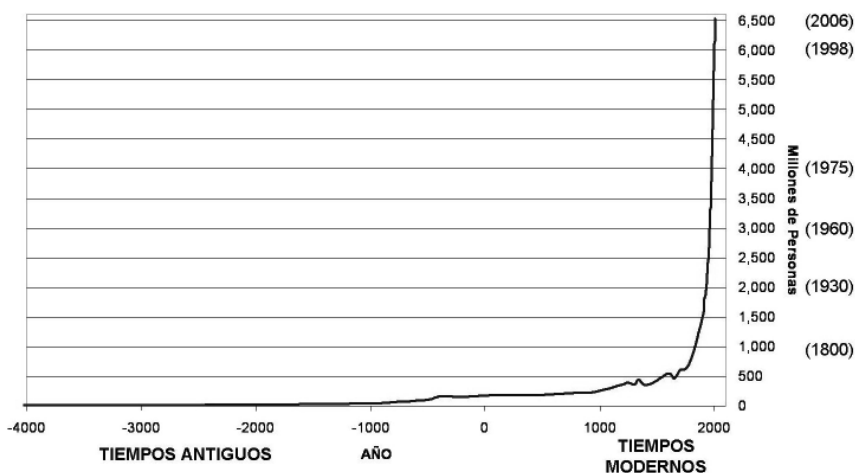


Figura 1. Crecimiento demográfico mundial (ONU; 2007).

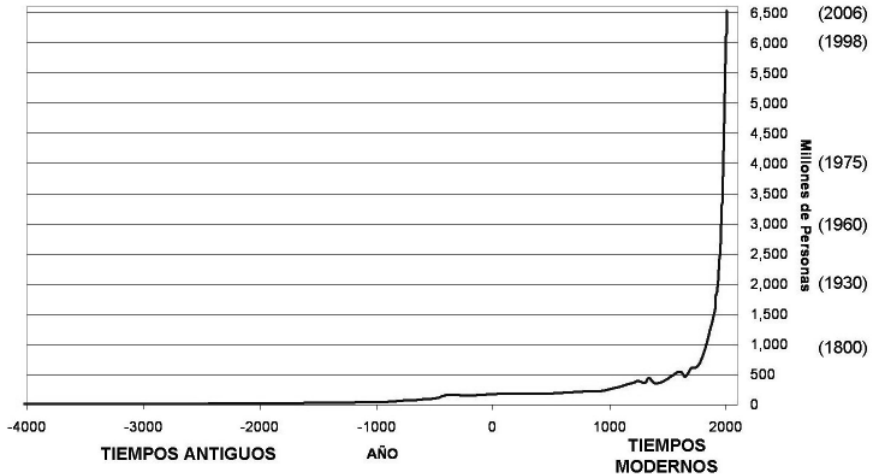


Figura 2. Crecimiento demográfico del estado de Chiapas (INEGI, 2008).

Efectos locales del deterioro ambiental.

Algunos problemas ambientales sólo afectan determinadas áreas o comunidades. Esta condición de localidad no hace que los problemas sean menos importantes, sólo que afectan a unas personas más que otras (Camacho, 2007). El deterioro ambiental al nivel local se hace evidente con la generación de residuos, la contaminación, la deforestación y la pérdida de suelos. En la siguiente sección definiremos cada uno de estos procesos y presentaremos cual es la situación que guardan para el caso específico de Chiapas.

a) Generación de residuos.

Durante muchos años los residuos generados por el consumo humano no se vieron como un problema, ya que se creía que la naturaleza reintegraba toda esta materia de forma natural; sin embargo con el crecimiento de las poblaciones humanas y con la producción de muchos materiales que no son biodegradables, las cantidades de desechos han aumentado de manera considerable, sobre todo en las ciudades y zonas más pobladas (Camacho, 2007).

Las ciudades generan toneladas de basura cada día y, en la mayoría de los casos, lo único que se hace es acumularla en grandes tiraderos, que al mediano y largo plazo también contaminan las capas profundas del suelo, los mantos freáticos y despiden gases tóxicos a la atmósfera (Camacho, 2007).

Estados Unidos es el mayor país productor de desechos, 2 kilogramos por habitante al día. El 34% de sus desechos es papel, 25% materia orgánica, 20% plásticos y vidrio, 14% metales y madera y 7% cuero y productos textiles (Hayden, 2008). En México se producen 1.4 kilogramos por habitante al día. El 47% de los residuos sólidos proviene de los hogares, 29%, de los comercios, 15%, de los servicios, 3% son residuos controlados y 6% proviene de otras actividades. El 51% de los desechos es materia orgánica, 18% textiles, 15% papel y cartón, 6% vidrio, 6% plásticos y 4% metales (Escamirosa *et al.*, 2001; SEP, 2006; Peralta, 2009).

En Chiapas, con 4'293,459 habitantes se generan 3,000 toneladas de desechos diarios (SEDESOL, 2007). Su capital, Tuxtla Gutiérrez, con 459,596 habitantes, generaba en 1995 aproximadamente 428 toneladas de desechos diarios. Ciudades como San Cristóbal de Las Casas, con 186,416 habitantes, producen hoy en día aproximadamente 200 toneladas diarias (Escamirosa *et al.*, 2001).

“Una bolsa de plástico se fabrica en un segundo, se usa durante 20 minutos y tarda entre 100 y 400 años en degradarse de manera natural”. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2008.

El asunto no acaba cuando se recoge la basura. Esa basura simplemente es separada de nuestra vista y llevada casi siempre a tiraderos al aire libre, donde contamina el suelo, el agua y el aire, atrayendo además a fauna nociva como algunas especies de insectos y roedores que pueden ser vectores de enfermedades. Parte de la basura, sus lixiviados, penetran en el subsuelo y contaminan el agua subterránea; otra parte, los gases, van al aire que respiramos; y otra parte, la que no es biodegradable, simplemente se queda en el suelo.

b) Contaminación.

La contaminación se entiende como la generación y emisión de sustancias tóxicas al medio ambiente. Son las tres fuentes principales de contaminación (Camacho, 2007):

1. La industria. El desarrollo industrial de las últimas décadas es la principal causa del incremento de desechos tóxicos emitidos a la atmósfera y a los mantos acuíferos.
2. Las concentraciones humanas. Las grandes ciudades son las que generan

la mayor parte de los residuos sólidos, además de las emanaciones de los automóviles y la generación de aguas negras.

3. El sector agropecuario. El uso inadecuado de insumos agrícolas en los sistemas de producción agropecuario convencional son una causa de contaminación ambiental de alto riesgo, debido a que generalmente los principios activos de dichos insumos son altamente tóxicos y tiene la propiedad de incorporarse dentro de los ciclos de la materia (por ejemplo, cadenas tróficas o ciclo del agua).

La contaminación de la tierra y el agua en Chiapas por el uso de agroquímicos es alarmante. Algunos ríos presentan ya índices graves de contaminación causados por las plantaciones en monocultivos (hule, palma africana, eucalipto, etc.) o por los ingenios azucareros (Castro, 2007).

Un estudio realizado por Greenpeace sobre los contaminantes orgánicos persistentes en México ofrece los siguientes datos: “Se han encontrado residuos de DDT y sus metabolitos en huevo, leche, queso, mantequilla y crema en la región de la Comarca Lagunera (1987), Ciudad de México (1981) y en el Soconusco, Chiapas (1990)”. Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha informado tiempo atrás, que las mujeres mexicanas son las que tienen en la leche materna mayores niveles de DDT a nivel mundial (Castro, 2007). Chiapas fue el quinto estado de la república con más reportes de intoxicación por plaguicidas en el año 2008 (Valentin y Olvera, 2009).

La contaminación también puede ser clasificada por su destino de la siguiente forma (Camacho, 2007):

1. Contaminación atmosférica. Se refiere a la contaminación del aire, generalmente las emisiones tóxicas a la atmósfera forman una masa o mezcla química de gases constituida por el ozono, óxidos de nitrógeno, compuestos volátiles orgánicos, bióxido de carbono, dióxido de sulfuro, aerosoles ácidos, vapor de agua y partículas suspendidas. Un estudio realizado en San Cristóbal de Las Casas indica que existe una elevada cantidad de excrementos caninos en el suelo, estos contienen diversos parásitos, incluyendo algunos que pueden ser transmitidos a los humanos, los cuales al quedar expuestos al sol, se desecan y permiten la volatilización de las partículas fecales, convirtiéndose en un riesgo latente para la salud de los habitantes y visitantes de esta ciudad, además de la desagradable imagen urbana (Martínez *et al.*, 2008).

2. Contaminación de las aguas. La contaminación, tanto de las aguas continentales, superficiales o subterráneas, como de las aguas marinas se produce de distintas formas: a) *contaminación biológica*, derivada de microorganismos provenientes de desechos humanos. Las bacterias que degradan estas sustancias necesitan oxígeno para hacerlo, y si hay grandes poblaciones de bacterias, el oxígeno se agota y mueren otros organismos acuáticos; b) *contaminación química*, producida por el uso de fertilizantes e insecticidas en las actividades agrícolas o por desechos industriales y domésticos; y c) *contaminación por desechos sólidos*, que fueron arrastrados por las corriente pluviales y llegan a los ríos y, finalmente, a los océanos. Uno de los residuos que más se presentan en el mar son los plásticos, estos representan una amenaza mortal para la vida en el mar y su persistencia es muy amplia. Por ejemplo una botella de plástico tarda alrededor de 450 años en degradarse en el agua de mar (SEP, 2006).

“Sin el agua de verdad no podemos vivir bien, veo que ya no se cuida, se le tira mucha basura como plásticos, jeringas y desperdicios que se va todo en el río por eso ahora ya esta muy sucio y luego nosotros lo tomamos, se enferman los niños de diarrea y dolor de estómago”. Anatalio Hernández Gómez, 69 años. Campo Santiago, Teopisca, Chiapas. Octubre, 2008.

Si bien en Chiapas existe más del 30% del agua superficial y se capta el 10% de las aguas de lluvia del país (Sánchez *et al.*, 2005), el agua potable no llega a muchas comunidades indígenas y campesinas. Existen mantos acuíferos que tienden a secarse o que, por largos periodos, se encuentran en niveles muy bajos. Por si fuera poco, las letrinas en las regiones rurales han contaminado las aguas superficiales y subterráneas que las poblaciones usan para beber u otros usos domésticos. En los territorios de los pueblos indígenas se encuentran las principales reservas de agua dulce de México. Sin embargo, el modelo económico está aumentando la presión de empresas y particulares sobre los recursos acuíferos que se encuentran en zonas rurales (Castro 2007).

La contaminación del agua también se agrava con el alto uso de agroquímicos. Enfermedades de la piel, y hasta leucemias, se han atribuido al uso de diversos agroquímicos. También la contaminación de las fuentes de agua dulce por obras de drenaje, desechos urbanos y generación de basura es ya un problema de salud pública en todo el estado. En 2008, se recolectaron un total de 1,147 toneladas de

basura del río Grijalva en el cañón del sumidero.

3. Contaminación por ruido. El ruido se ha convertido en un elemento común, casi característico de las grandes ciudades; pero cuando un ruido alcanza los 90 decibelios se considera que ya es dañino para el ser humano.

4. Contaminación visual. La alteración negativa del paisaje por la excesiva presencia humana, múltiples carteles publicitarios y la presencia de basura en cualquier área, es considerada también como una forma de contaminación a nuestro ambiente. Este tipo de contaminación afecta emocionalmente al ser humano, por la percepción desagradable sobre su medio. La contaminación visual también tiene un efecto económico negativo, específicamente en el sector turístico.

c) Deforestación.

La deforestación es el resultado de la tala de árboles en un área determinada, con los fines de explotación comercial de la madera, ampliación de la frontera agrícola y ganadera o aumento del tamaño de las poblaciones. Esta pérdida de cobertura forestal trae consigo la erosión, cambios en las condiciones climáticas y fragmentación y pérdida de hábitat para algunas especies animales (Ochoa y González, 2000; Camacho, 2007).

En los trópicos la deforestación es uno de los problemas ambientales más importantes, con serias consecuencias económicas y sociales (Cayuela, 2006). A nivel mundial, la Amazonia brasileña es la región con más altas tasas de deforestación, habiéndose destruido cerca de 560 mil kilómetros cuadrados de selvas entre 1984 y 2005 (Hayden, 2008).

“Los mayas que eran muy sabios, ellos sí pedían al creador antes de tumbar un árbol o cuando sembraban; pero en mis tiempos ya no fue así, agarrábamos nuestras hachas y tirábamos los árboles ... nunca pedíamos o agradecíamos lo que teníamos”. Pedro Martínez Icó. 69 años. Yutaki, Huixtán, Chiapas. Noviembre, 2008.

En Chiapas, la Selva Lacandona ha sufrido un acelerado proceso de deforestación de manera heterogénea. En los últimos 20 años la superficie de bosques se redujo al 33% en la región norte de la selva, 56% en la región de Marqués de

comillas y al 90% en la comunidad lacandona (Ochoa-Gaona *et al.*, 2005). Si todo sigue igual, dentro de pocos años no tendremos la selva lacandona, ni el agua de los caudalosos ríos del estado (Castro, 2007). Otra región importante por sus bosques montanos en Chiapas es la región de Los Altos. Según el estudio de Cayuela (2006) el área estimada de bosque en esta región para el año 1975 fue del 62%, para el año 1990 del 50%, y entre 1990 y 2000 se produce una pérdida neta de cerca del 40% del bosque existente en 1990, lo que supone una tasa de deforestación del 4.8% anual en este último período. La reducción más importante se produjo en el bosque de niebla, que es una de las asociaciones vegetales más importantes por su alta diversidad biológica, pasando de 20% del área de estudio en 1975 a apenas un 2% en el año 2000 (Cayuela, 2006). En general, para el estado de Chiapas se ha estimado para los últimos 17 años (1990-2007) una tasa anual de cambio en la cobertura forestal de 5.4%, una de las más altas registradas en el mundo, lo que representa un promedio de 45 mil hectáreas anuales (Morales, 2009). Esto afecta incluso al 1'300,000 hectáreas declaradas como Áreas Naturales Protegidas (ANP) en el estado.

“Antes acostumbraban cada vez que se iban a trabajar orar hincándose hacia los cuatro puntos cardinales agradeciéndole y pidiéndole a Dios y al dueño de la tierra una buena cosecha o le pedían permiso al árbol antes de tumbar. En la actualidad algunos cortan los árboles con motosierra, ya tienen ganados, ya no se dedican a la agricultura”. Miguel Espinoza Demeza. 65 años. Hic'batil, Chilón, Chiapas. Noviembre, 2008.

Entre los ecosistemas acuáticos más afectados por la deforestación se encuentran los humedales, tanto costeros como continentales. La desecación y destrucción de estos ecosistemas implica la desaparición de su flora y fauna acuáticas, pero también ocasiona la destrucción de corredores naturales para aves migratorias y mamíferos (Galindo *et al.*, 2008; Landa y Carabias, 2008). Asimismo, vuelve más vulnerables a las poblaciones humanas en asentamientos inadecuados. Las inundaciones ocasionadas por fenómenos meteorológicos que sufren los estados de Chiapas, Veracruz, Tabasco y Oaxaca, ponen de manifiesto que la deforestación y degradación de los humedales aumentan la vulnerabilidad a este tipo de sucesos (Greenpeace, 2005; Santiago y López, 2008).

d) *Pérdida de suelos.*

El suelo es el sustrato para el establecimiento de la vegetación, fuente de minerales, filtrador de agua y el medio físico donde se establece la infraestructura para el desarrollo humano. La deforestación, la aplicación de tecnologías agrícolas inadecuadas y la urbanización son los tres factores principales que están degradando este recurso. Sus principales efectos son la erosión (Cuadro 2), la acumulación de sales (salinización), la acidificación, y la compactación (Valverde *et al.*, 2005). Estos efectos traen consigo, tarde o temprano, un proceso que se conoce como desertificación, el cual consiste en la transformación lenta y continua del ambiente hacia condiciones cada vez más parecidas a las de un desierto (Camacho, 2007).

Cuadro 2. Grado de erosión de los suelos en México (Valverde *et al.*, 2005).

Grado de erosión	Porcentaje del territorio
Grave	9
Alta	21
Moderada	34
Ligera	36

En la región Sierra de Chiapas, las lluvias del huracán Stan deslizaron más de 34 mil hectáreas de suelos. Esta pérdida de suelos evidencia una grave deforestación, según el balance hecho por la Comisión Nacional Forestal en Chiapas. La pérdida de suelos en las partes altas y medias, donde hay bajadas importantes de agua y lodos, significan menores posibilidades de regeneración natural de la vegetación.

En la región de Los Altos de Chiapas se está presentando un proceso de erosión acelerada por la explotación de bancos de arena y piedra. Solamente en el municipio de San Cristóbal de Las Casas se tienen registrados 38 bancos de arena que representan aproximadamente 115 hectáreas de explotación y que, en la mayoría de los casos, no cuentan con el permiso municipal de uso de suelo. Los bancos de arena y piedra constituyen una de las fuentes más importantes de suministros primarios para la industria de la construcción de la región y son una fuente importante de empleo. Sin embargo, su eventual éxito económico ha propiciado la expansión de esta actividad, generando no sólo problemas de erosión sino toda una serie de problemas ambientales en el corto y mediano plazo: pérdida de cobertura vegetal original, pérdida del hábitat de fauna local y migratoria, disminución de las corrientes superficiales y subterráneas de agua,

disminución de la recarga de los mantos freáticos, desecamiento de los humedales y colonización humana inadecuada en zonas de alto riesgo.

Efectos globales del deterioro ambiental.

Todas nuestras acciones que impactan al medio ambiente, tarde o temprano, van sumándose a las de otras personas y acaban por manifestarse como problemas ambientales que afectan a toda la humanidad. Por eso, estos problemas son de todos, y todos estamos involucrados en la solución (Camacho, 2007).

a) Pérdida de biodiversidad.

La biodiversidad es la variedad de formas en las que se expresa la vida en el planeta. Hasta la fecha se han descrito cerca de dos millones de especies (Valverde *et al.*, 2005). Pero la biodiversidad no se distribuye de manera uniforme en el planeta, sino que hay algunas regiones que son biológicamente más ricas que otras.

La pérdida de la diversidad biológica es en la actualidad uno de los problemas ambientales más importantes del mundo. Año tras año, miles de especies se extinguen ante el asedio de las actividades humanas (Ceballos, 2004).

“Había montañas con más cipreses, había ardillas, tepezcuintle y conejos donde quiera hasta aquí nomás se veían, también armadillo y venado, pero ya no hay mucho ya, porque la gente ya lo mató, cazó todo para comer... todos los árboles lo acabaron”. Anatalio Hernández Gómez, 69 años. Campo Santiago, Teopisca, Chiapas.

Muchas especies han aparecido y se han extinguido a lo largo de periodos de miles, e incluso cientos de miles de años, como consecuencia de los procesos evolutivos y la capacidad de adaptación de las mismas a un medio cambiante. En el registro fósil encontramos muchas formas de vida que existieron en el pasado y que ya no se encuentran más. Ha habido además varios periodos de extinción masiva de especies que probablemente fueron causados por grandes catástrofes naturales a escala global, y la recuperación llevó millones de años.

Hoy en día estamos viviendo una nueva gran extinción. Sin embargo, esta vez, la catástrofe somos nosotros. Es probable que, en esta nueva crisis de extinción, desaparezcan más del 50% de todas las plantas y los animales al final del siglo

XXI, lo cual sería una catástrofe sin precedentes en la historia de la tierra. Aparte de las consecuencias que sobre el ser humano dicha catástrofe supondría, existen muchas razones filosóficas, éticas, morales, estéticas, de recreación, culturales y científicas para proteger la biodiversidad, lo cual depende casi exclusivamente de la especie humana (Ceballos, 2004).

La susceptibilidad de las especies a desaparecer depende de varios factores intrínsecos, como su rareza, sus hábitos alimenticios, su requerimiento de espacio, su capacidad de reproducirse y adaptarse a nuevas situaciones; pero sobre todo por factores externos como su sobreexplotación, la introducción de nuevos competidores, de nuevos depredadores, la introducción de nuevas enfermedades y parásitos, la ruptura de las cadenas tróficas, la reducción o destrucción total del hábitat, y en consecuencia la pérdida de variabilidad genética.

En México hay una larga lista de especies en peligro de desaparecer. Con la finalidad de enfocar los esfuerzos de conservación, el gobierno federal junto con el sector académico ha diseñado un sistema de clasificación de la situación que guarda cada una de las especies respecto a su riesgo de extinción:

Protección especial. Cuando está sometido a un riesgo de extinción a mediano plazo.

Amenazado. Cuando hay riesgo de extinción a corto plazo.

En peligro de extinción. Cuando hay riesgo muy alto de extinción a corto plazo.
Extinto. Cuando el último individuo de una especie ha muerto.

Dicho sistema de clasificación se encuentra descrito en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. En el Cuadro 3 presentamos algunas de las especies que se encuentran bajo alguna categoría de amenaza y cuya distribución potencial incluye el estado de Chiapas.

“Por cada especie que sabemos amenazada, probablemente hay cien más de las que no sabemos nada”. Callum M. Roberts, biólogo experto en conservación marina.

Cuadro 3. Especies clasificadas bajo alguna categoría de amenaza en el estado de Chiapas (según NOM-059-ECOL-2001 y Ceballos, 2004).

Nombre Común	Nombre Científico	Situación
Aves		
Cigüeña americana	<i>Mycteria americana</i>	Protección especial
Tucán collarejo	<i>Pteroglossus torquatus</i>	Protección especial
Bobo garganta azul	<i>Eumomota superciliosa</i>	Amenazada
Codorniz norteña	<i>Colinus virginianus</i>	Amenazada
Hocofaisán	<i>Crax rubra</i>	Amenazada
Matraca	<i>Campylorhynchus chiapensis</i>	Amenazada
Pava cojolita	<i>Penelope purpurascens</i>	Amenazada
Pajuil	<i>Penelopina nigra</i>	Amenazada
Trogón orejón	<i>Euptilotis neoxenus</i>	Amenazada
Tucán pico canoa	<i>Ramphastos sulfuratus</i>	Amenazada
Águila arpía	<i>Harpia harpyja</i>	En peligro de extinción
Cenzontle pardo	<i>Tardus gravi</i>	En peligro de extinción
Cigüeña jabirú	<i>Jabiru mycteria</i>	En peligro de extinción
Guacamaya roja	<i>Ara macao</i>	En peligro de extinción
Guacamaya verde	<i>Ara militaris</i>	En peligro de extinción
Halcón peregrino	<i>Falco peregrinus</i>	En peligro de extinción
Jilguero	<i>Myadestes occidentalis</i>	En peligro de extinción
Loro cabeza amarilla	<i>Amazona oratrix</i>	En peligro de extinción
Loro corona azul	<i>Amazona farinosa</i>	En peligro de extinción
Perico cabeza blanca	<i>Pionus senilis</i>	En peligro de extinción
Cotorra de cueva	<i>Aratinga holochlora</i>	En peligro de extinción
Pavón	<i>Oreophasis derbianus</i>	En peligro de extinción
Quetzal	<i>Pharomachus mocinno</i>	En peligro de extinción
Zopilote rey	<i>Sarcoramphus papa</i>	En peligro de extinción
Guajolote ocelado	<i>Meleagris ocellata</i>	Extinta en Chiapas
Guacamaya verde	<i>Ara militaris</i>	Extinta en Chiapas
Mamíferos		
Mico de noche	<i>Potos flavus</i>	Protección especial
Venado cola blanca	<i>Odocoileus virginianus</i>	Protección especial
Zenzo	<i>Tayassu pecari</i>	Protección especial
Puerco espín	<i>Coendu mexicanus</i>	Amenazada
Ardilla voladora	<i>Glaucomas volans</i>	Amenazada
Tapir	<i>Tapirus barirdii</i>	Amenazada
Tlacuache	<i>Didelphys marsupialis</i>	Amenazada
Armadillo	<i>Cabassous centralis</i>	En peligro de extinción
Jaguar	<i>Pantera onca</i>	En peligro de extinción
Liebre tropical	<i>Lepus flavigularis</i>	En peligro de extinción
Manatí	<i>Trichechus manatus</i>	En peligro de extinción
Mono araña	<i>Ateles geoffroyi</i>	En peligro de extinción

Cuadro 3. *Continuación.*

Nutria	<i>Lontra longicaudis</i>	En peligro de extinción
Ocelote	<i>Leopardus pardalis</i>	En peligro de extinción
Oso hormiguero	<i>Tamandua mexicana</i>	En peligro de extinción
Puma	<i>Puma concolor</i>	En peligro de extinción
Saraguato negro	<i>Alouatta pigra</i>	En peligro de extinción
Saraguato café	<i>Alouatta palliata</i>	En peligro de extinción
Tigrillo	<i>Leopardus wiedii</i>	En peligro de extinción
Viejo de monte	<i>Eira barbara</i>	En peligro de extinción
Peces		
Bagre	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	Protección especial
Popoyote	<i>Profunduls hildebrandi</i>	Amenazada
Bagre de Chiapas	<i>Lacantunia enigmatica</i>	En peligro de extinción
Mojarra del sureste	<i>Cichlasoma urophthalmus</i>	En peligro de extinción
Reptiles		
Cocodrilo de pantano	<i>Crocodylus moreletii</i>	Protección especial
Iguana verde	<i>Iguana iguana</i>	Protección especial
Jequillo collarajo	<i>Shaerodactylus glaucus</i>	Protección especial
Lagarto oreja de espina	<i>Abronia hythrochila</i>	Protección especial
Mojina	<i>Rhinoclemmys areolata</i>	Protección especial
Víbora de cascabel	<i>Crotalus viridis</i>	Protección especial
Lagartija nocturna	<i>Lepidophyma alvarezii</i>	Amenazada
Tortuga mexicana	<i>Gopheru flavomargi</i>	Amenazada
Lagartija azul	<i>Sceloporus prezygus</i>	En peligro de extinción

b) Agotamiento de la capa de ozono.

La capa de ozono es una delgada capa de gases constituida sobre todo por el ozono (O_3 en un 90%) en la estratosfera, la cual protege al planeta de las radiaciones ultravioleta. El adelgazamiento de la capa de ozono se produce cuando algunos productos utilizados en los aerosoles y en los sistemas de refrigeración se dispersan en el aire y ascienden hasta la capa estratosférica de ozono, descomponiéndose y liberando átomos de cloro y bromo, que reaccionan con el ozono, destruyéndolo (SEP, 2006). Esto genera graves problemas ambientales y de salud. La exposición excesiva a los rayos ultravioleta puede suprimir las respuestas inmunitarias de los seres humanos y de los animales, es decir, reduce su resistencia ante una serie de enfermedades, entre ellas diferentes tipos de cáncer, cataratas, alergias y algunas enfermedades infecciosas. La radiación directa de los rayos ultravioleta perturba además el frágil equilibrio de los ecosistemas (SEP, 2006; Camacho, 2007).

Cuadro 3. *Continuación.*

Nombre Común	Nombre Científico	Situación
Herbáceas		
Flor de la Lacandona	Lacandonia schismatica	Amenazada
Zacate jovel	Stipa ichu	Amenazada
Agaves		
Maguey Tsotsil	Agave congesta	Protección especial
Maguey Chamula	Agave chiapensis	Protección especial
Izote de árbol	Yucca lacandonica	Amenazada
Cícadas		
Cícada de El Triunfo	Ceratozamia matudae	Amenazada
Cícada del Soconusco	Zamia soconuscensis	En peligro de extinción
Bromelias		
Bromelia de Chiapas	Tillandsia chiapensis	Amenazada
Bromelia del Grijalva	Tillandsia socialis	Amenazada
Orquídeas		
Orquídea de Guatemala	Lepanthes guatemalensis	Protección especial
Orquídea del Tacaná	Epidendrum alticola	Amenazada
Orquídea de la Sierra Madre	Rhynchostele madrensis	Amenazada
Zapatilla de venus	Cypripedium irapeanum	En peligro de extinción
Palmas		
Palma pitshan	Brahea nitida	Protección especial
Palo de escoba	Cryosophila nana	Amenazada
Tepejilote chiapaneco	Chamaedorea carchensis	Amenazada
Árboles y arbustos		
Pino de Chiapas	Pinus chiapensis	Protección especial
Kisis toj	Podocarpus matudai	Protección especial
Mangle	Rhizophora mangle	Protección especial
Limoncillo	Symplocos excelsa	Protección especial
Helecho arborescente	Cyathea fulva	Protección especial
Palo de chombo	Guatteria anomala	Amenazada
Palo mulato	Bursera arborea	Amenazada
Totoposte	Licania arborea	Amenazada
Magnolia	Magnolia grandiflora	Amenazada
Ramón	Brosimum alicastrum	Amenazada
Romerillo	Abies guatemalensis	En peligro de extinción
Laurel	Litsea glaucescens	En peligro de extinción

El debilitamiento de la capa de ozono se ha producido en las latitudes altas del hemisferio norte y sur debido a reacciones que involucran clorofluorocarbonos (CFC) y otros gases industriales. La mayor pérdida de ozono en el Ártico se registró en el año 2005, y se advierte que el agujero de la capa de ozono puede haber llegado a regiones pobladas del hemisferio norte. Todo esto ha ocurrido a pesar de que en 1987 se firmó el Protocolo de Montreal, donde varios países se comprometieron a reducir la producción y emisión de CFC (Espinosa, 2005; Camacho, 2007).

c) Lluvia ácida.

Uno de los efectos del uso de combustibles fósiles es la emisión al ambiente de gases contaminantes compuestos por azufre, nitrógeno y carbono. Una vez que estos gases llegan a la atmósfera, reaccionan químicamente con el vapor de agua, formándose ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido carbónico. Estos compuestos no se quedan en la atmósfera, sino que pueden regresar a la Tierra en forma de lluvia ácida (SEP, 2006). Sin duda alguna la lluvia es esencial para garantizar el funcionamiento de los ecosistemas y esencial para la vida humana, pero si llueve con todos esos ácidos, es fácil imaginar los daños que puede generar (SEP, 2006).

El efecto corrosivo de la lluvia ácida afecta a las hojas y raíces de las plantas, causa daños importantes a cultivos y bosques, lesiona la piel y los ojos de los animales e incluso puede llegar a matarlos, por ejemplo a peces en lagos poco profundos. La lluvia ácida también llega a dañar construcciones, como puentes, edificios y monumentos históricos (SEP, 2006).

d) Efecto invernadero.

Los cambios en el sistema climático global han ocurrido durante toda la historia del planeta. A partir de los primeros miles de millones de años de formación, dichas modificaciones se han presentado por causas naturales que incluyen: cambios en la órbita terrestre, alteraciones en la excentricidad del planeta, actividad volcánica intensa e impactos de meteoritos (Santiago *et al.*, 2008).

Desde hace 10,000 años el planeta ha experimentado una relativa estabilidad climática; sin embargo, en la actualidad y desde una perspectiva más cercana a la experiencia humana, es decir dentro de un periodo factible de evaluar por

el ser humano, se ha observado un incremento de la temperatura media anual global (hoy día la tierra esta más caliente 0.75° C que en 1850 –IPCC, 2007-) sobretodo en la última década (once de los años más calurosos registrados desde 1850 ocurrieron entre 1995 y 2006 (Cornwall, 2008).

Para comprender estos cambios en el clima, es preciso conocer un fenómeno que se relaciona estrechamente con este proceso: el efecto invernadero. Este es un proceso natural en el que la atmósfera absorbe parte de la radiación solar reflejada por la superficie de la Tierra, lo que hace posible tener una temperatura promedio de 15° C, la cual permite el desarrollo de la vida en nuestro planeta. Si no hubiera efecto invernadero, la temperatura promedio del planeta sería de alrededor de –18° C (SEP, 2006).

Sin embargo, muchas actividades humanas contribuyen de forma sustancial al incremento del efecto invernadero, entre ellas las relacionadas con la combustión de gasolina, diesel, carbón, y gases usados para el transporte y los procesos industriales. La agricultura, la ganadería, los incendios y los depósitos de residuos sólidos urbanos también provocan el aumento de la concentración de estos gases de efecto invernadero en la atmósfera (SEP, 2006).

Por lo tanto se ha llegado a un amplio consenso científico de que las actividades humanas alteran de manera directa e indirecta la composición de la atmósfera, que agregada a la variabilidad climática natural, han provocado que el clima global se vea alterado significativamente en el último siglo como resultado del aumento de la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI), tales como el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), los óxidos de nitrógeno (N₂O) y los clorofluorocarbonos (CFCs) (IPCC, 2001; Monterroso *et al.*, 2007).

La Comisión Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) determinó que las concentraciones de CO₂ durante el periodo 1750-2005 aumentaron en un 35% y siguen aumentando en alrededor de 0.4% al año, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles y al cambio del uso de los suelos (IPCC, 2007; Cornwall, 2008).

Estos cambios en la concentración de los gases de efecto invernadero son los que causan cambios regionales y globales en la temperatura, precipitación y otras variables climáticas, lo que conlleva cambios globales en la humedad del

suelo, derretimiento de glaciares, incrementos en el nivel del mar y la ocurrencia más frecuente y severa de eventos extremos como huracanes, frentes fríos, inundaciones y sequías (Santiago *et al.*, 2008).

e) Cambio climático global.

El cambio climático se define como una modificación del clima atribuida directa o indirectamente a procesos naturales pero sobre todo a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera. En tal sentido, entendemos por cambio climático global la suma de los problemas ambientales causados por hechos que tienen su origen en las actividades humanas y se relaciona con numerosos factores, como la población mundial, su estilo y nivel de consumo (en particular energético) y la elección de las tecnologías empleadas para la producción de bienes y servicios (SEP, 2006).

“En esta comunidad, antes el ciclo de la lluvia era diferente, ya que llovía todo el año, el clima era más frío, más estable”.
Miguel Espinoza Demeza. 65 años. Hic'batil, Chilón, Chiapas.
Noviembre, 2008.

Con base en las nuevas concentraciones de los gases de efecto invernadero es posible estimar las condiciones futuras del clima para el presente siglo:

Aumento de la temperatura promedio del planeta de 1.8 a 6.4° C.

Incremento de 1.2% del vapor de agua en la atmósfera.

Derretimiento de las zonas polares.

Incremento del nivel del mar de 0.18 a 4.5 metros.

Algunas especies vegetales y animales podrán adaptarse a las nuevas condiciones, incluso algunas de distribución restringida podrán ampliar su hábitat. Pero, en general, del 20 al 30% de la biodiversidad global estará en peligro de extinción por la pérdida de su hábitat.

Estos cambios sobre los factores climáticos tienen un efecto directo sobre la ocurrencia cada vez más frecuente e intensa de eventos meteorológicos extremos, como por ejemplo:

Huracanes más fuertes que provocan inundaciones en las costas.

Sequías y ondas de calor más prolongadas que favorecen los incendios forestales y la desertificación.

Tornados más intensos.

Frentes fríos que provocan lluvias constantes en las partes altas de las cuencas e inundaciones en las partes bajas.

Heladas y tormentas de nieve más intensas y frecuentes.

“Antes llovía mucho casi todo el año pero poco a poco se fue dejando de llover, pero también cuando llueve ahorita llueve muy fuerte se llenan mucho los ríos. No sé que año llovió mucho y lo llevó el río todas las piedras y ahí se fueron también los pescados”.
Anatalio Hernández Gómez, 69 años. Campo Santiago, Teopisca, Chiapas. Octubre, 2008.

A su vez, estas tendencias y eventos extremos asociados al cambio climático tendrán consecuencias severas sobre la economía y la salud de las poblaciones humanas, tales como:

Reducción de disponibilidad de agua potable en las zonas más pobladas.

Caída en los rendimientos de los cultivos y, por tanto, escasez de alimentos.

Incremento de enfermedades diarreicas agudas.

Incremento de enfermedades epidémicas transmitidas por vectores.

Movilización de la población humana por aumento del nivel del mar.

Mayores costos de oportunidad y adaptación de nuevos mercados.

Frente al cambio climático global tenemos dos grandes retos: revertir las tendencias negativas mediante la mitigación y reducir la vulnerabilidad ante los eventos extremos por medio de la adaptación.

La mitigación está centrada en la reducción de las emisiones y la recaptura de los gases de efecto invernadero. Para lograr este objetivo es necesario implementar una serie de estrategias que permitan que la temperatura promedio anual no aumente más de 2° C. Concretamente es necesario:

Cambio del estilo de vida en las ciudades, sobre todo en lo referente al ahorro de la energía eléctrica, la reducción del consumo de combustibles como el gas y la

gasolina, y la reducción, reutilización y reciclaje de los desechos sólidos.

En el medio rural es necesario el reordenamiento territorial; además del mejoramiento de los sistemas de producción agropecuarios, orientándolos a sistemas de producción limpios e integrales, con uso eficiente de energías alternativas y poca dependencia de recursos externos.

Conservación y restauración de los bosques y ecosistemas de humedales, los cuales constituyen un importante sumidero de carbono y liberan oxígeno a través de la fotosíntesis. En términos generales, es indispensable reducir al máximo la tala y quema de bosques.

Mayor inversión en investigación y uso de fuentes alternativas de energía, como la energía eólica, energía solar térmica y fotovoltaica y biocombustibles a partir de residuos agrícolas.

Propiciar el diálogo, el intercambio de información y la difusión del conocimiento para crear conciencia y cultura para el desarrollo de procesos de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

“En la comunidad hacen limpieza en los arroyos juntando toda la basura y llamándose la atención entre ellos mismos para no seguir tirando basura en los arroyos y evitan talar los árboles que cubren los arroyos; pues a veces algunos se secan sin quedar una sola gota de agua, lo que antes no ocurría. Los señores que saben comunicarse con el dueño del agua (el Ajau) le oran por el agua, después toman todos un poquito de pox y comienzan a tocar la música tradicional”. Miguel Espinoza Demeza. 65 años. Hic’batil, Chilón, Chiapas. Noviembre, 2008.

La adaptación esta centrada en reducir la vulnerabilidad de las poblaciones humanas ante los eventos extremos derivados del cambio climático global y los desastres que estos pueden ocasionar, para lo que es necesario:

Desarrollar planes de emergencia, simulacros, mapas de riesgo y amenaza, tanto para el medio urbano como rural.

Elaborar pronósticos meteorológicos asertivos y oportunos.

Diseñar sistemas diversificados de producción agropecuarios, que permitan reducir el riesgo de la pérdida total de la producción y una posible escasez de alimentos.

Alternativas de solución.

Observar y no sólo ver, escuchar y no sólo oír, decir y no sólo hablar, nos permiten romper el silencio. No todo está perdido y tampoco tenemos que continuar hacia un futuro de desastre y desolación. Sin duda alguna existen no una sino varias alternativas para contribuir a resolver y revertir los problemas ambientales que hoy en día nos aquejan. La crisis ambiental es una crisis de conocimiento, por lo tanto se requiere de la voluntad de todos, pues nadie puede saberlo todo, pero todos saben algo (Leff, 2008).

a) Producción orgánica.

Los sistemas de cultivo bajo el esquema de producción orgánica están basados en el uso intensivo, eficiente y sistémico de todos los componentes de agroecosistema. En estos sistemas agrícolas la biodiversidad cumple funciones que van más allá de la producción de alimentos, fibra, combustible e ingresos económicos. Algunas de éstas incluyen (Altieri y Nicholls, 2000):

Reciclaje de nutrientes.

Control del microclima.

Regulación de los procesos hidrológicos locales.

Regulación de la abundancia de organismos que funcionen como plagas.

Detoxificación de residuos químicos nocivos.

El principio fundamental de la producción orgánica es evitar el uso de insumos industriales y, en su lugar, usar la biodiversidad para el manejo óptimo de plagas y reciclaje de nutrientes del suelo.

Es necesario impulsar alternativas a partir del conocimiento tradicional y elementos de la ciencia agrícola moderna que no erosionen ni los fundamentos de las culturas locales ni los recursos que la naturaleza ofrece (Toledo, 2000; Morales, 2002). Es también importante promover una investigación agroecológica orientada a explorar sistemas diversificados de cultivos, el uso del control biológico y de sustancias de origen vegetal, para encontrar en conjunto

con los productores, soluciones tecnológicas adecuadas a sus problemáticas.

b) Energías alternativas.

La energía es un concepto fundamental en la sociedad moderna y resulta importante entenderla como base del progreso humano. Todo el desarrollo técnico, social y económico se ha sustentado en la utilización, cada vez más eficiente, de las fuentes de energía. Todos los sectores productivos y de consumo necesitan de alguna forma de energía. Sin embargo, y a pesar de la importancia de la energía, el modelo energético actual resulta a todas luces insostenible, ya que plantea grandes dudas sobre el abastecimiento de energía a mediano y largo plazo, así como problemas de contaminación y riesgo.

Las fuentes alternativas de energía, también llamadas energías limpias, son aquellas que no representan amenaza para el medio ambiente, debido a que no generan contaminantes, su manejo no es de alto riesgo y pueden resultar más eficientes que las fuentes tradicionales basadas en la energía fósil (Camacho, 2007).

Entre las principales fuentes de energías alternativas se pueden mencionar las siguientes:

Solar: térmica y fotovoltaica.

Hidráulica.

Eólica.

Biomasa: biodisel y metano.

Geotérmica.

Mareomotriz.

c) Tecnologías alternativas.

La manera de aprovechar las energías alternas es mediante las tecnologías alternativas, entre las cuales mencionaremos aquellas que son más apropiadas para las poblaciones rurales (Castro, 2007):

Las estufas Lorena: Una alternativa al uso intensivo de leña como fuente principal de energía son las estufas ahorradoras. Estas estufas ayudan a reducir la quema diaria de leños, lo cual combate la deforestación, evita las enfermedades de los ojos y pulmones y disminuye el peso de carga de leña (se calcula que en Chiapas el 80% de la leña la cargan las mujeres, los niños y las niñas). Son fáciles de

construir, con materiales locales y a bajo costo.

El biodigestor: Es un compartimiento cerrado en el que se fermenta materia orgánica, como el excremento de vacas, cerdos, e incluso humanos, gracias a la acción de las bacterias que producen el gas metano. Este biogás se puede utilizar en lámparas, estufas, calefacción de agua y generación de electricidad, entre otros.

Ollas y calentadores solares: Se puede cocinar cualquier cosa y se puede, por medio de tuberías especiales, calentar agua para bañarse.

Filtros y sistemas de agua potable: Permiten purificar el agua hasta en un 99%. De construcción fácil, accesible y barata.

Sistema de lavaderos comunitarios: Es un sistema que capta agua de lluvia y la limpia en un conjunto de pilas para lavar la ropa. Excelente alternativa para los centros urbanos marginados y para las comunidades rurales que lavan en los ríos, arroyos o pequeños cuerpos de agua contaminando su única fuente del vital líquido que usan también para beber u otros usos domésticos.

d) Las cinco R's.

Otra alternativa de solución es, sin duda alguna, el cambio de actitud de cada individuo hacia una cultura ambiental. Para ello una herramienta muy poderosa es la aplicación en nuestra vida cotidiana de las cinco R's:

Respeto al medio ambiente.

Rechazar lo que es dañino al medio ambiente.

Reducir la cantidad de productos que consumimos.

Reutilizar las veces que sea necesario y posible un producto.

Reciclar aquellos productos que no se reutilizan.

e) Conservación de la biodiversidad.

La creciente preocupación por la pérdida de la biodiversidad ha llevado a las sociedades y a los gobiernos a impulsar estrategias para su conservación. Estas estrategias se clasifican en dos tipos: conservación *in situ*, es decir en el lugar mismo donde sucede la biodiversidad, y conservación *ex situ*, es decir fuera del lugar de origen de la biodiversidad.

f) Restauración de ecosistemas.

La restauración ecológica es un proceso inducido por el hombre para recuperar las condiciones ambientales (vegetación, flora, fauna, clima, agua, suelo y microorganismos) de un ecosistema perturbado. En este proceso se trata no sólo de rescatar especies, sino recuperar las interacciones y procesos ecológicos donde las especies están relacionadas entre sí con el medio abiótico (Jiménez *et al.*, 2002). Restaurar un ecosistema es devolverle en el tiempo su estructura, composición diversidad de especies y funcionamiento de la manera más cercana a su estado original.

CONCLUSIONES

La tierra se formó hace 4 mil 500 millones de años. Las primeras formas de vida aparecieron hace 3 mil 800 millones de años, y los indicios del hombre hace 40 mil años, aunque hace 12 mil años comenzó la civilización. Sin embargo, sólo hace 300 años se inició la explotación de toda aquella materia orgánica sepultada por millones de años, con lo que empezó la era del petróleo iniciándose la contaminación del planeta. A este ritmo, nos quedarían 200 años de vida en el planeta o, en otras palabras, con esta tendencia, bastarían 500 años para terminar con el planeta que tardó en formarse 4 mil 500 millones de años. Todo ello provocado por el calentamiento global, derivado del modo de producción capitalista globalizado. Pero el colapso ecológico no es la única evidencia de la crisis de civilización que alcanza en estos momentos su punto culminante en la historia de la humanidad, también lo demuestran la desigualdad social, la pobreza extrema, la crisis alimentaria, la crisis energética y la crisis económica que esta poniendo en evidencia una crisis ética y moral (Castro, 2007; Leff, 2008).

Las actividades desarrolladas por el ser humano en sociedades generan los bienes y servicios que garantizan su bienestar. Estas actividades son cada día más complejas y tecnológicamente avanzadas, de forma que mantienen un alto nivel de productividad para satisfacer una creciente demanda que cada vez es más consumista. Sin embargo, los recursos de la biosfera, aunque abundantes, son recursos finitos y hoy en día sufren una sobreexplotación y degradación que conduce a una situación límite y de alto riesgo. Por lo tanto es preciso actuar y poner en práctica alternativas de solución, si se quiere que la biosfera siga manteniendo a la humanidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las colaboraciones de Griselda Vázquez Jiménez, Lorenzo Hernández Sántiz y Eleazar Pérez Encino. De manera especial agradecen las innumerables correcciones y sugerencias realizadas por el Dr. Luís Cayuela que permitieron mejorar sustancialmente el presente documento.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemán, T., López, J., Martínez, A. y L. Hernández. 2002. Retos de un sistema productivo indígena: Altos de Chiapas. *Revista LEISA* 18(1): 12-14.
- Altieri, M. y Nicholls, C. 2000. *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México. 250 p.
- Altieri, M., Rosset, P. y Thrupp, L. 2001. Una visión de la alimentación, la agricultura y el medio ambiente en el año 2020. En: <http://www.eter.ws/> (Consultado: 25/06/2001).
- Boege, E. 2003. *Protegiendo lo nuestro: manual para la gestión ambiental comunitaria, uso y conservación de la biodiversidad de los campesinos indígenas de América Latina*. PNUMA. México. 175 p.
- Camacho, I. 2007. *Ecología y medio ambiente*. ST Editorial, S. A. de C. V. México. 191 p.
- Castro, G. 2007. *Compartiendo Alternativas*. I Foro Agua y Energía en Chiapas. En: <http://www.imacmexico.org/> (Consultado: 25/01/2009).
- Cayuela, L. 2006. Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Revista Ecosistemas*. En: <http://www.revistaecosistemas.net/> (Consultado: 18/02/2007)
- Ceballos, G. (Editor). 2004. *Animales en peligro*. Guía México Desconocido. Edición especial. México. 95 p.
- Cornwall, C. 2008. La verdad sobre el calentamiento global. *Selecciones Reader's Digest*. pp: 37-43.

- Escamirosa, M., Carpio, P., Castañeda, N. y F. Quintal. 2001. Manejo de los residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. UNICACH. 129 p.
- Espinosa, N. 2005. Agujero de la capa de ozono en el Ártico. En: Salvemos la capa de ozono. Boletín número II de la oficina técnica de ozono de Cuba. 6 p.
- Estrada, E., Baltasar, E., Pat, J. y R. Zúñiga. 2003. Procesos globales, respuestas locales: transformaciones económicas campesinas. En: Montoya, G., Bello, E., Parra, M. y R. Mariaca (coords.) La frontera olvidada entre Chiapas y Quintana Roo. México. Biblioteca popular de Chiapas. pp: 141-210.
- Galindo, L.; Martínez, M.; López, M; Camacho, A.; Ramírez, N. y J. Santiago (2008) Humedales de Montaña en Chiapas: Reconocimiento de la flora y avifauna asociada. Impresos Net Print. México. 63 p.
- Greenpeace México. 2005. La destrucción de los ecosistemas. En: <http://www.greenpeace.org/mexico/news/>. (Consultado: 14/01/2009).
- Hayden, T. 2008. La condición humana. National Geographic en Español. Edición Especial. pp: 12-49.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. 2008. Censo de población y vivienda 2005. En: <http://www.inegi.org.mx/inegi/>. (Consultado: 20/11/2008).
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. 2001. Tercer informe de evaluación. Cambio climático 2001: la base científica. Cambridge University Press. Cambridge. 94 p.
- Jiménez, P., Aguirre, C., Treviño, G., Garza, S, Medellín, G., Alanis, F. y E. Canales. 2002. Priorización: grados de riesgo y daño en el área y vegetación. En: Curso de restauración de áreas quemadas para ONG'S conservacionistas. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. Agencia para el Desarrollo Internacional de Estados Unidos. 20 p.
- Landa, R. y Carabias, J. 2008. Los recursos hídricos y la gestión de cuencas en México. En: Paré y González (coord.) Gestión de cuencas y servicios ambientales. SEMARNAT, INECOL, WWF. México. pp: 23-40.
- Leff, E. 2008. Discursos Sustentables. Siglo XXI editores, S. A. de C. V. México. D. F. 272 p.

- Martínez, I., Gutiérrez, C., Alpízar, S. y L. Pimienta. 2008. Contaminación parasitaria en heces de perros, recolectadas en calles de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. *Revista Veterinaria México* 39(2): 173-180.
- Moguel, R. y Parra, M. 2003. Acción institucional y organizaciones de productores en tres comunidades del área maya. En: Montoya, G., Bello, E., Parra, M. y R. Mariaca (coords.) *La frontera olvidada entre Chiapas y Quintana Roo*. México. Biblioteca popular de Chiapas. pp: 211-298.
- Monterroso, A., Gómez, J., Tinoco, J. y J. Estrada. 2007. Impacto del cambio climático sobre dos especies representativas del trópico mexicano *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* en la Península de Yucatán. En: I Congreso sobre Manejo de Ecosistemas y Biodiversidad. Memorias. Ministerio de Medio Ambiente. Cuba.
- Montoya, G., Bello, E., Parra, M. y R. Mariaca. 2003. *La frontera olvidada entre Chiapas y Quintana Roo*. México. Biblioteca popular de Chiapas. 330 p.
- Morales, H. 2002. Pest management in traditional tropical agroecosystems: Lessons for pest prevention research and extension. *Integrated Pest Management Reviews* 7: 145-163.
- Morales, M. 2009. Plan de acción de cambio climático para el estado de Chiapas. Conservación Internacional México, A. C. En: <http://www.katoombagroup.org/> (Consultado: 10/02/2009).
- Ochoa Gaona, S. y González-Espinosa, M. 2000. Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography* 20: 17-42.
- Ochoa Gaona, S., De Jong, B. y López-García, J. 2005. La frontera de colonización asistida. La Selva Lacandona: estado actual de sus recursos. En: *Frontera sur de México. Cinco formas de interacción entre sociedad y ambiente*. Hernández, S. (coordinador). El Colegio de la Frontera Sur. México. 120 p.
- ONU [Organización de las Naciones Unidas]. 2007. División de población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas. En: <http://esa.un.org/unpp>. (Consultado: 10/01/2009).
- Peralta, L. 2009. Con la basura hasta el cuello. Todos la producimos. *Revista Quo* 136: 31- 39

- Sánchez, J., Rojas, M., Angeles, H., Infante, F., Holguín, F., Castro, V., Skolov, M. y C. Tovilla. 2005. La frontera comercial. Breve diagnóstico del Soconusco. En: Frontera sur de México. Cinco formas de interacción entre sociedad y ambiente. Hernández, S. (coordinador). El Colegio de la Frontera Sur. México. 120 p.
- Santiago, J. y López, M. 2008. Cambio climático global y eventos extremos asociados. *Personae* 109: 55-57
- Santiago, J.; López, M. y S. López. 2008. Tendencias del cambio climático global y los eventos extremos asociados. *Ra Ximhai* 4(3): 625-633.
- SEDESOL [Secretaría de Desarrollo Social]. 2007. Dimensión ambiental. Compendio. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. En: <http://app1.semarnat.gob.mx>. Consultado: (14/01/2009).
- Seefoó, J. 2005. La calidad es nuestra, la intoxicación ... ¿de usted! El Colegio de Michoacán. México. 348 p.
- SEP [Secretaría de Educación Pública]. 2006. Conocimiento del ambiente y prevención de riesgos en la familia y en la comunidad. Secretaría de Educación Pública. México. 96 p.
- Toledo, V. 2000. La paz en Chiapas. Ecología, luchas indígenas y modernidad alternativa. Ediciones Quinto Sol. UNAM. México. 256 p.
- Valentin, M. y Olvera M. 2009. Informe anual 2008. Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria, A. C. AMIFAC. México, 24 p.
- Valverde, T., Meave, J., Carabias, J. y Z. Cano. 2005. Ecología y Medio Ambiente. Pearson Prentice Hall. México. 230 p.

EFFECTOS TÓXICOS DE LA ATRAZINA EN LA EXPRESIÓN GENÉTICA EN EMBRIONES DEL PEZ CEBRA (*Danio rerio*)

**Sandoval Villasana A.M.
Cervantes Dacasa F.R.
Hernández Romano J.
González Sánchez A.
Medrano Vaca M.G.**

INTRODUCCIÓN

La atrazina (2-cloro-4-etilamina-6-isopropilamina-s-triazina) es uno de los herbicidas de la familia de las triazinas, se emplea por su efectividad para evitar la pérdida de cultivos por la proliferación de maleza en los cultivos de interés agrícola (maíz, sorgo, caña de azúcar, piña, árboles de navidad, y otros cultivos, así como en plantaciones de reforestación de coníferas). En México es utilizado debido a su bajo costo y fácil uso, es un compuesto difícil de biodegradar, y por ende su biodisponibilidad en el ambiente es alta, (Hernández y Hansen, 2011; Graymore *et al.*, 2001). Estructuralmente esta constituida por un anillo hexagonal, aromático y simétrico formado por tres átomos de carbono y otros tres de nitrógeno ocupando posiciones alternas (Weber *et al.*, 2006), actúa inhibiendo la fotosíntesis en el fotosistema II con iones halógenos efectuando la acción herbicida (FAO, 2007). Esta sustancia no se adsorbe fuertemente a las partículas del suelo y puede tener una vida media de entre 60 y 100 días. La atrazina tiene un gran potencial de contaminación del agua subterránea a pesar de su moderada solubilidad en agua. La atrazina tiene efectos tóxicos, se ha asumido que sus metabolitos (dietilatrazina y diisopropilatrazina) son menos tóxicos (Mandelbaum *et al.* 1995; Guzzella *et al.* 2003). Se ha reportado que los embriones de *Danio rerio* expuestos a atrazina pueden llegar a ser afectados en su desarrollo morfológico a concentraciones de 0.1 mg/L (Wiegand *et al.*, 2000). Se presume que este compuesto puede ser un disruptor endocrino, ya que potencia y aumenta la expresión de la aromatasa en algunas líneas celulares de cáncer humano (WuQiang *et al.*, 2007). El objetivo

de este trabajo fue evaluar la expresión genética causada por la atrazina en nueve genes (*cyp1a*, *fzr1*, *ahr2*, *hmx*, *hsp70*, *maf1*, *nfe212*, *vtg1* y *mt2*) de embriones de *Danio rerio*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El pez cebra tipo-silvestre fue conservado en peceras de vidrio de 40 L en grupos de ~ 40 peces en un sistema de flujo estático. Fueron alimentados dos veces al día con hojuelas vitaminadas y por intervalos regulares fueron alimentados *ad libitum* con alimento vivo de *Artemia salina*. El ciclo de luz fue establecido en 14 h luz/10 h oscuridad y la temperatura ambiental fue constante a 28° C. Se llevó a cabo el apareamiento y al día siguiente, al amanecer, los peces depositaron sus huevos en bandejas de vidrio colocadas en el fondo de las peceras la noche anterior al inicio de los experimentos.

Después de cosechar los huevos, fueron reunidos y lavados completamente con medio de lavado de embriones E3 (Muncke *et al.*, 2006). Las exposiciones con atrazina fueron realizadas a 0.64, 3.2, 16, 80, 400 y 2×10^3 $\mu\text{g L}^{-1}$ con un factor de separación de 10 a 120 h. Los huevos fueron colocados en grupos de 100 en placas de Petri de 30 mm conteniendo 20 mL del medio E3 (como blanco control), la sustancia de exposición (atrazina) con hasta 0.01 % del solvente de dilución (DMSO). Las placas fueron colocadas en una incubadora a 28° C. El ciclo de luz durante la exposición fue establecido en 14 h luz/ 10 h oscuridad y la temperatura fue constante a 28 °C. Las placas fueron cubiertas con su tapa de borosilicato y recolocadas en la incubadora. Cada placa fue sacada de la incubadora cada 24 h para separar los embriones muertos e inmediatamente la placa fue rellenada con la solución de prueba apropiada.

El ARN total fue extraído a partir de los embriones expuestos con el reactivo Trizol® (Invitrogen) de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La integridad del ARN se verificó a través de electroforesis en gel.

Se seleccionaron los genes β -actina, *ef1a* y *gapdh* como genes housekeeping de acuerdo a estudios previos y la disponibilidad de secuencias en peces y especies relacionadas. Para estudiar la expresión relativa se seleccionaron los genes blanco *cyp1a*, *fzr1*, *ahr2*, *hmx*, *hsp70*, *maf1*, *nfe212*, *vtg1* y *mt2* debido a que muestran roles en funciones celulares diferentes, además de que se ha

identificado su expresión diferencial en respuesta a una exposición particular, pudiendo representar una firma de expresión génica para esa condición de exposición (Muncke *et al.*, 2006; Filby *et al.*, 2007; Muncke *et al.*, 2007; Tang *et al.*, 2007; Kausch *et al.*, 2008; Liedke *et al.*, 2008; McCurley *et al.*; 2008; Weil *et al.*, 2009)

La PCR en tiempo real se realizó usando TaqMan Universal PCR Master Mix (Applied Biosystems) en un equipo 7500 (Applied Biosystems). Todas las muestras se realizaron por triplicado en placas de 96-pozos, se incluyeron controles. Las sondas FAM; TAMRA y QUASAR60 fueron sintetizadas por Biosearch Technologies, Inc. (Novato, CA). Los primers fueron diseñados para anclarse en diferentes exones. Los exones fueron identificados buscando para cada gen en la secuencia de genoma completa (http://www.ensembl.org/Danio_rerio/index.html), usando la gene's GenBank cDNA sequence.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Resultados.

La evaluación de los datos del PCR-tiempo real se realizó utilizando el método Qgene (Muller *et al.*, 2002). Este método calcula la abundancia de mRNA basado en la eficiencia de la reacción de amplificación de PCR específicamente para cada gen, relacionándolo con el gen de referencia. Las expresiones de *β -actina*, *efla* y *gapdh* fueron usados como control interno para normalización. Como parte de la muestra analizada, es compensado por la variable de procesamiento de la eficiencia de la normalización.

En el experimento realizado a una concentración de 500 ng/ μ L de cDNA y con 120 h de exposición a atrazina, los genes blanco desplegaron niveles de expresión o se reprimieron con respecto a los genes endógenos *β -actina* ó *efla* de la siguiente manera:

Niveles de expresión de genes blanco con respecto al gen endógeno *β -actina*.

El gen *ahr2* se expresó hasta en 1.3 veces con el DMSO, y a las concentraciones de 640, 3200, 1.6E+04 y 8E+04 ng/L de atrazina, mientras que, a concentraciones de 4E+05 y 2E+06 ng/L se reprimió hasta en -1.7 veces. El gen *efla* se expresó

hasta en 0.7 veces con el DMSO y a las concentraciones de 640, 3200, 1.6E+04 y 8E+04, 4E+05 ng/L, caso contrario, a la concentración de 2E+06 ng/L se reprimió hasta en -1 vez. El gen *gapdh* se reprimió tanto para el DMSO como para todas las concentraciones analizadas hasta en -3.9 veces. El gen *hmox* se expresó hasta en 0.99 veces con el DMSO y a las concentraciones de 640, 1.6E+04, y 2E+06 ng/L, mientras que, a 3200, 8E+04 y 4E+05 ng/L de atrazina, se reprimió hasta en -1 vez. El gen *hsp70* se expresó hasta en 0.7 veces con el DMSO, y a 640, 3200, 1.6E+04, 8E+04 y 2E+06 ng/L de atrazina y se reprimió hasta en -1 vez a 4E+05 ng/L (Figura 1).

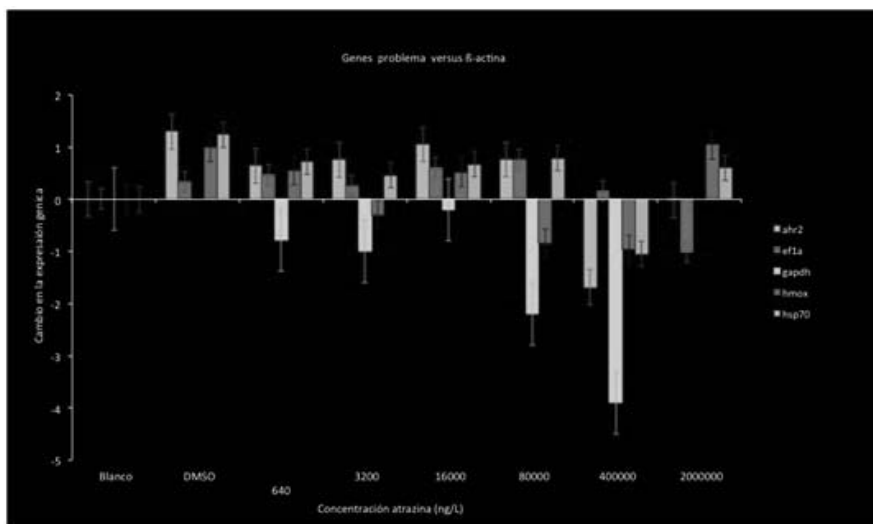


Figura 1. Niveles de expresión de genes blanco con respecto al gen endógeno β-actina debido a atrazina a 120 h de exposición.

Niveles de expresión de genes blanco con respecto al gen endógeno *efla*. El gen *ahr2* se expresó hasta en 0.95 veces con el DMSO y a las concentraciones de 640, 3200, 1.6E+04, 8E+04 y 2E+06 ng/L de atrazina; mientras que, a la concentración de 4E+05 ng/L se reprimió hasta en -1.8 veces. El gen β-actina se reprimió hasta en -0.7 veces con el DMSO a las concentraciones de 640, 3200, 1.6E+04 y 8E+04, 4E+05 ng/L, y se expresó hasta en 1 vez a la concentración de 2E+06 ng/L. El gen *gapdh* se reprimió hasta en -4 veces para el DMSO y para todas las concentraciones estudiadas. El gen *hmox* se expresó con el DMSO y a las concentraciones de 640 y 2E+06 hasta en 2 veces, sin embargo, a las concentraciones de 3200, 1.6E+04, 8E+04 y 4E+05 ng/L se reprimió hasta en -1.5 veces. El gen *hsp70* se expresó hasta en 0.89 veces con el DMSO y a

las concentraciones de 640, 3200, 1.6E+04, 8E+04 y 2E+06 ng/L, y por el contrario, se reprimió hasta en -1.2 veces a 4E+05 ng/L de atrazina (Figura 2).

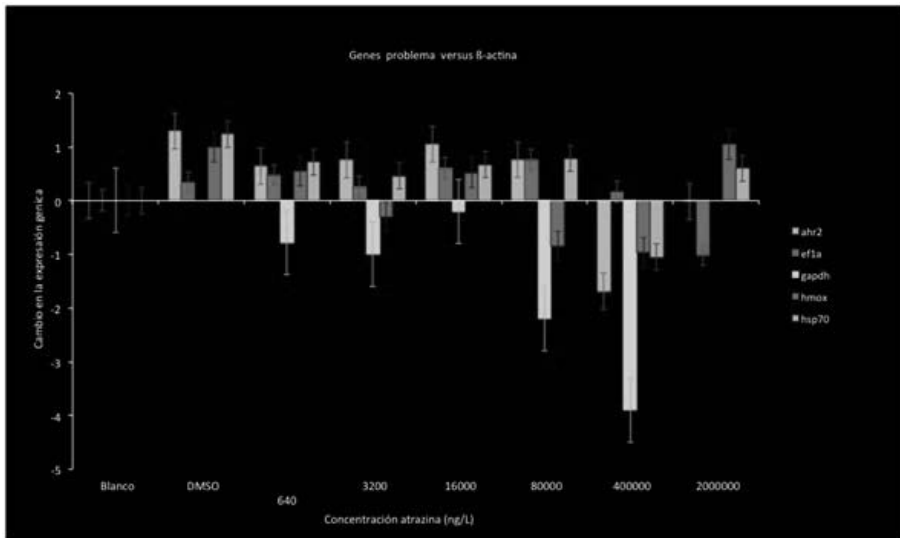


Figura. 2. Niveles de expresión de genes blanco con respecto al gen endógeno *efla* debido a atrazina a 120 h de exposición.

Discusión.

La exposición a 120 h con atrazina, y considerando 500 ng μ /L de molde de cDNA y β -actina como gen normalizador, el gen *efla* se expresó ligeramente con el DMSO, mientras que *gapdh* no mostró expresión (Figura 2). Asimismo, considerando a β -actina como gen normalizador respecto a los genes blanco *ahr2*, *hmox* y *hsp70* mostraron expresión con el DMSO e incluso a la concentración de 640 ng/L de atrazina, en contraste, los mismos genes se reprimieron con una concentración de atrazina de 4E+05 ng/L. De modo similar y considerando a *efla* como gen normalizador, el gen β -actina se reprimió ligeramente con el DMSO, mientras que *gapdh* no mostró expresión. Por otro lado, considerando al gen *efla* como gen normalizador con respecto a los genes blanco *ahr2*, *hmox* y *hsp70* se expresaron con el DMSO e incluso a las concentraciones de mínimas y máximas de atrazina (640 y 4E+05 ng/L). Esto muestra que una misma sustancia, a diferentes concentraciones, puede tener distintos efectos en la expresión genética. Existen reportes que muestran que a bajas concentraciones

de atrazina actúa como disruptor endocrino, pero no a elevadas concentraciones. Este resultado pone de manifiesto por un lado, la complejidad de los mecanismos que regulan la expresión genética, y por otro, los efectos pleiotrópicos de agentes como la atrazina.

CONCLUSIONES

De los genes endógenos seleccionados (β -actina, *efla* y *gapdh*), este último no mostró un patrón de expresión consistente que permita utilizarlo como tal, mientras que β -actina y *efla* muestran variaciones importantes cuando se comparan entre sí, lo que sugiere que alguno de ellos varía en su expresión frente a las diferentes condiciones evaluadas y por lo tanto no puede usarse como endógeno. La investigación se continúa con los análisis para determinar cuál de los dos genes pudiera ser el óptimo para ser utilizado como gen endógeno de control de la expresión. En reportes previos, se muestra que estos genes se inducen frente a distintos agentes contaminantes, sin embargo, en nuestro estudio no se observó tal efecto. El proceso de expresión genética tisular, puede visualizarse como un proceso gradual, puesto que en un huevo recién fecundado los genes expresados representan una minoría comparados con los genes expresados en el mismo organismo completamente desarrollado.

AGRADECIMIENTOS

A los M. en C. Juan Diego y José Javier Pérez de la Rosa. Departamento de Secuenciación Genómica. Centro Nacional de Servicios de Constatación Animal. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

BIBLIOGRAFÍA

Filby A.L. y Tyler C.R. (2007). Appropriate 'housekeeping' genes for use in expression profiling the effects of environmental estrogens in fish. *BMC Molecular Biology* 8:10.

- Food and Agricultural Organization (2007) Clasificación de Herbicidas. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s0e.htm#caracterización%20de%20los%20principales%20grupos%20de%20herbicidas>.
- Graymore M, Stagnitti F, Allinson G (2001) Impacts of Atrazine in aquatic ecosystems. *Environmental International* 26: 483-495.
- Guzzella, L., Rullo S. y Giuliano G. (2003). Studies on mobility and degradation pathways of terbuthylazine using lysimeters on a field scale. *Journal of Environmental Quality* 32(3): 1089-1098.
- Hernández Antonio A. Hansen A. M. (2011). Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 115-127.
- Kausch U., Alberti M., Haindl S., Budczies J. y Hock B. (2008). Biomarkers for Exposure to Estrogenic Compounds: Gene Expression Analysis in Zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Toxicology*. Vol. 23, 15-24 pp.
- Liedtke A., Muncke J., Rüfenacht K. y Eggen R. (2008). Molecular multi-effect screening of environmental pollutants using the MolDarT. *Environmental Toxicology* 23:59-67.
- Mandelbaum, R. T., Allan D. L., Wackett, L.P. (1995). Isolation and Characterization of a Pseudomonas Sp That Mineralizes the S-Triazine Herbicide Atrazine. *Applied and Environmental Microbiology* 61(4): 1451-1457.
- McCurley A. y Callard V.G. (2008). Characterization of housekeeping genes in zebrafish: male-female differences and effects of tissue type, developmental stage and chemical treatment. *BMC Molecular Biology*, 9:102
- Muller PY, Janovjak H, Miserez AR, Dobbie Z. (2002). Processing of gene expression data generated by quantitative real-time RT-PCR. *Biotechniques* 32:1372–1379.
- Muncke J. y Eggen R.I.L. (2006). Vitellogenin 1 mRNA as an early molecular biomarker for endocrine disruption in developing zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Toxicology and Chemistry*. 25 (10), 2734-2741.

- Muncke J., Junghans M., Eggen R.I. (2007). Testing estrogenicity of known and novel (xeno-) estrogens in the MolDarT using developing zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Toxicology* 22:185-193.
- Tang R., Dodd A., Lai. D., McNabb C. W. Y Love R. D., (2007). Validation of Zebrafish Reference Genes for Quantitative Real-time RT-PCR Normalizations. 39(5):384-390.
- Weber, J. B., Taylor, K. A., and Wilkerson, G. G. (2006). Soil and Herbicide Properties Influenced Mobility of Atrazine, Metolachlor, nad Primisulfuron-Methyl in Field *Lysimeters*. *Agronomy Journal*, 98:8-18.
- Weil M., Scholz S., Zimmer M., Sacher F. y Duis K. (2009), Gene expression analysis in zebrafish embryos: A potential approach to predict effect concentrations in the fish early life stage test. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 28: 1970–1978.
- Wiegand C., Krause E., Steinberg C. y Plugmacher S. (2001). Toxicokinetics of atrazine in embryos of the zebrafish (*Danio rerio*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 49:199-205.
- WuQiang, F., Yanase T., Morinaga H., Gondo S., Okabe T., Nomura M., Komatsu T., Morohashi K., Hayes T., Takayanagi R. y Nawata H. (2007). Atrazine-Induced Aromatase Expression Is SF-1 Dependent: Implications for Endocrine Disruption in Wildlife and Reproductive Cancers in Humans, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 115, numero 5, 720-727 pp.

ANÁLISIS DE EXPRESIÓN GENÉTICA POR PCR EN EMBRIONES DEL PEZ CEBRA PARA IDENTIFICAR LOS EFECTOS CAUSADOS POR 17 β -ESTRADIOL

**Sandoval Villasana A.M.
Hernández Romano J.
Cervantes Dacasa F.R.
Medrano Vaca M.G.**

INTRODUCCIÓN

Los disruptores endocrinos son una preocupación compleja y presionante en salud humana y la vida silvestre, debido a que actúan vía interacción con las hormonas esteroides receptoras nucleares. La investigación internacional ha reportado sobre la alteración endócrina inducida químicamente por estrógenos ambientales que alteran el desarrollo y la función sexual en el pez, y también han sido reportados sus efectos sobre otros procesos fisiológicos, incluyendo crecimiento, desarrollo, osmorregulación, respuesta inmune y al estrés (Filby, 2007). Los peces pequeños representan un modelo rentable para las posibles pruebas que permitan probar los compuestos disruptores endocrinos (CDE) desde la posibilidad de integrar los efectos moleculares hasta los efectos fenotípicos y funcionales (Scholz y Mayer, 2008)

La ecotoxicología ha adoptado en años recientes las tecnologías genómicas para crear el campo de rápido crecimiento de la ecotoxicogenómica (Snape *et al.*, 2004). Las herramientas genómicas eligen como blanco las respuestas moleculares que experimentan los organismos en reacción al contaminante y proporcionan una imagen sugerente del efecto tóxico sufrido por los organismos y los mecanismos compensatorios que el organismo ha movilizado en su defensa (Poyton, 2009). El análisis genómico de la expresión genética puede evaluar la reacción de un organismo a un estresante ambiental. El proceso inicia cuando un organismo es expuesto a un contaminante químico que entra y se distribuye a lo largo de su cuerpo, el contaminante interactúa con células y componentes celulares en una forma dependiente de sus propiedades químicas, resultando en

daño celular específico. En respuesta, el organismo reacciona al contaminante en múltiples niveles, los cuales incluyen alteración de la expresión de genes, niveles de proteínas, o concentraciones de metabolitos. Estos cambios podrían ayudar a proteger al organismo del estresante particular o mitigar los efectos adversos del estresante. El grupo de genes particular (o proteínas o metabolitos) que son alterados, son dependientes y específicos de los mecanismos de acción del contaminante. De esta manera, puede esperarse que cambios en la expresión del gen puedan ser usados como biomarcadores de toxicidad. Los disruptores endócrinos son compuestos cuyas moléculas interfieren en las funciones reproductivas e imitan o antagonizan los efectos de hormonas endógenas, tales como los estrógenos. Los disruptores endócrinos son compuestos cuyas moléculas interfieren en las funciones reproductivas e imitan o antagonizan los efectos de hormonas endógenas, tales como los estrógenos. Algunos estrógenos sintéticos, particularmente etinilestradiol, pueden contaminar el ambiente acuático, debido a que es usado ampliamente como anticonceptivo en todo el mundo. Los estrógenos son pequeñas moléculas lipofílicas que cruzan la membrana celular y están unidos por receptores nucleares específicos.

La exposición humana a estrógenos puede generar susceptibilidad al cáncer de próstata, mama, ovario y útero, y también puede influir en la orientación sexual (Wingar *et al.*, 1998). Además, hay estudios que indican que el cáncer vaginal se asocia con la exposición a hormonas sintéticas en las mujeres.

El objetivo de este trabajo fue detectar cambios en la expresión relativa de nueve genes (*cyp1a*, *fzr1*, *ahr2*, *hmx*, *hsp70*, *mafg1*, *nfe212*, *vtg1* y *mt2*) en el pez cebra (*Danio rerio*) en su etapa embrionaria después de su exposición al esteroide 17β -estradiol (E2) con la finalidad de identificar posibles genes biomarcadores que permitan predecir la exposición a contaminantes en el ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Mantenimiento y reproducción del pez cebra.

El pez cebra tipo-silvestre fue conservado en peceras de vidrio de 40 L en grupos de ~ 40 peces en un sistema de flujo estático. Fueron alimentados dos veces al día con hojuelas vitaminadas y por intervalos regulares fueron alimentados *ad libitum* con alimento vivo de *Artemia salina*. El ciclo de luz fue establecido en 14 h luz/10 h oscuridad y la temperatura ambiental fue constante a 28° C. Se llevó

a cabo el apareamiento y al día siguiente, al amanecer, los peces depositaron sus huevos en bandejas de vidrio colocadas en el fondo de las peceras la noche anterior al inicio de los experimentos.

Exposiciones.

Después de cosechar los huevos, fueron reunidos y lavados completamente con medio de lavado de embriones E3 (Muncke *et al.*, 2006). Las exposiciones se realizaron a 6 h. Los huevos fueron colocados en grupos de 100 en placas de Petri de 30 mm conteniendo 20 mL del medio E3 (como blanco control), la sustancia de exposición (17β estradiol) con hasta 0.01 % del solvente de dilución (EtOH). Las placas fueron colocadas en una incubadora a 26° C. El ciclo de luz durante la exposición fue establecido en 14 h luz/ 10 h oscuridad y la temperatura fue constante a 28 °C. Las placas fueron cubiertas con su tapa de borosilicato y recolocadas en la incubadora.

Sustancias químicas.

17β estradiol (E2) (Sigma-Aldrich) y etanol (Merck). Las exposiciones con estradiol (E2) se realizaron a 27.24, 272.4, 2723.8, 27 238, 272 380 ng L⁻¹. se empleó un factor de separación de cinco en las concentraciones de E2, además se incluyó un blanco control y un control del solvente de dilución. Todos los experimentos se repitieron al menos tres veces, en experimentos independientes.

Extracción de ARN.

Se rompió el corión de los embriones y el tejido de los alevines con un disruptor de tejidos (Eppendorf, Hamburg, Germany). La extracción del ARN total se realizó por el método de extracción fenólica con Tri Reagent (Sigma-Aldrich). Se tomó una alícuota para determinar la concentración de ARN total calculada de la absorbencia a 260 nm (A_{260nm}; Thermo Scientific) y la calidad del ARN fue verificada por la relación A_{260nm}/A_{280nm} >1.8.

Síntesis de ADNc.

Por cada muestra, 500 ng μ L⁻¹ de ARN total fueron tratados con RiboLock RNase Inhibitor y RevertAid H Minus M-MuLV RT (Fermentas). El molde de cADN fue sintetizado del ARN tratado con DNase usando primers hexámeros aleatorios (5'-NNNN-3'; Biosearch Technologies Inc, Novato, CA) y virus de leucemia Moloney-murine (M-MKV) transcriptasa inversa (Fermentants), de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Amplificación de ADNc (RT-PCR).

La PCR en tiempo real se realizó usando TaqMan Universal PCR Master Mix (Applied Biosystems) en un equipo 7500 (Applied Biosystems). Todas las muestras se realizaron por triplicado en placas de 96-pozos, se incluyeron controles. Las sondas FAM; TAMRA y QUASAR60 fueron sintetizadas por Biosearch Technologies, Inc. (Novato, CA). Los primers fueron diseñados para anclarse en diferentes exones. Los exones fueron identificados buscando para cada gen en la secuencia de genoma completa (http://www.ensembl.org/Danio_rerio/index.html), usando la gene's GenBank cDNA sequence.

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Resultados.

La evaluación de los datos de PCR en tiempo real fue realizada usando el método qGen desarrollado por Muller, 2002. Este método calcula la abundancia de mRNA basado en la eficiencia de la reacción de amplificación de PCR específicamente para cada gen, relacionándolo con el gen de referencia. Las expresiones de β -actin, *efla* y *gapdh* fueron usados como control interno para normalización. En el experimento realizado a 6 horas de exposición se utilizó una concentración 1000 ng μ L⁻¹ de cDNA, los genes blanco mostraron niveles de expresión o se reprimieron con respecto a los genes endógenos β -actina ó *efla* de la siguiente manera:

Niveles de expresión de genes blanco con respecto al gen endógeno β -actina. El gen *ahr2* se expresó hasta en 1.8 veces con etanol y a las concentraciones de 27.2, 2.72E+02, 2.72E+03 y 2.72E+04, mientras que, se reprimió hasta en -2.1 veces la concentración de 2.72E+05 ng L⁻¹ de estradiol. El gen *efla* se expresó hasta en 0.38 veces con etanol y a las concentraciones de 27.2, 2.72E+02, 2.72E+03 y 2.72E+05 ng L⁻¹, en cambio, se reprimió hasta en -0.002 veces a 2.72E+04 ng L⁻¹. El gen *fzr1* se expresó hasta en 0.14 veces a las concentraciones de 2.72E+02, 2.72E+03, 2.72E+04 y 2.72E+05 ng L⁻¹, por el contrario, se reprimió hasta en 0.01 veces con etanol y a la concentración de 27.2 ng L⁻¹. Los genes *gapdh* y *hmox* no mostraron expresión debida a estradiol. El gen *hsp70* se expresó hasta en 0.93 veces con etanol y a las concentraciones de 27.2, 2.72E+02, 2.72E+03, 2.72E+04 y 2.72E+05 ng L⁻¹ de estradiol (Figura 1).

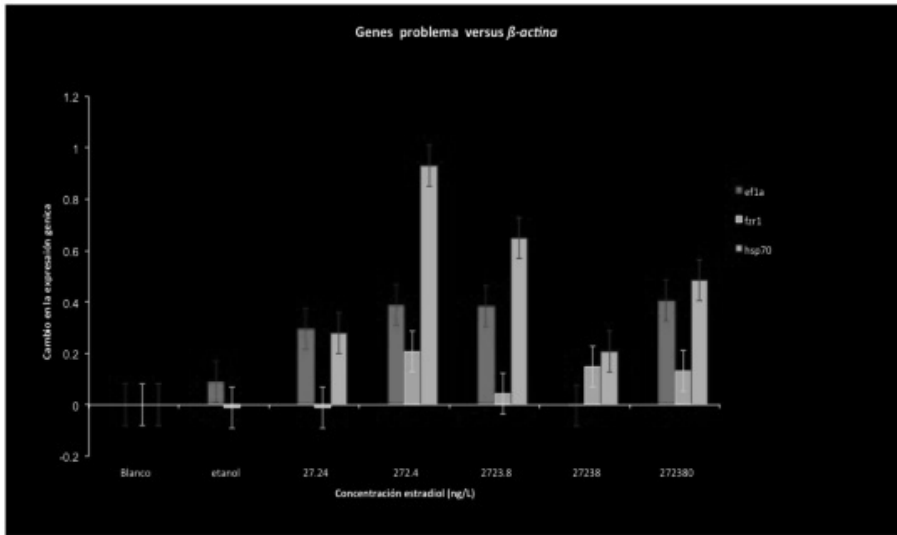


Figura. 1. Niveles de expresión de genes blanco con respecto al gen endógeno β -actina debido a 17β estradiol a 6 h de exposición.

Niveles de expresión de genes blanco con respecto al endógeno *efla*. El gen *ahr2* se expresó hasta en 1.89 veces con etanol y a las concentraciones de 27.2, 2.72E+02, 2.72E+03 y 2.72E+04 ng L⁻¹ de estradiol, por otro lado, se reprimió hasta en -2.1 veces a la concentración de 2.72E+05 ng L⁻¹. El gen β -actina se expresó hasta en 1.89 veces con etanol y a 27.2, 2.72E+02, 2.72E+03 y 2.72E+05 ng L⁻¹, sin embargo, se reprimió hasta en -2.1 veces a la concentración de 2.72E+04 ng L⁻¹. El gen *fzr1* se expresó hasta en 0.34 veces con etanol y a las concentraciones de 27.2, 2.72E+02, 2.72E+03 y 2.72E+05, aunque, se reprimió hasta -2.1 veces a 2.72E+04 ng L⁻¹. Los genes *gapdh* y *hmox* no manifestaron expresión al estradiol. El gen *hsp70* se expresó hasta en 0.54 veces a 2.72E+02, 2.72E+03 y 2.72E+04 2.72E+05 ng L⁻¹, aunque, se reprimió hasta en -0.019 veces en 27.24 ng L⁻¹ (Figura. 2)

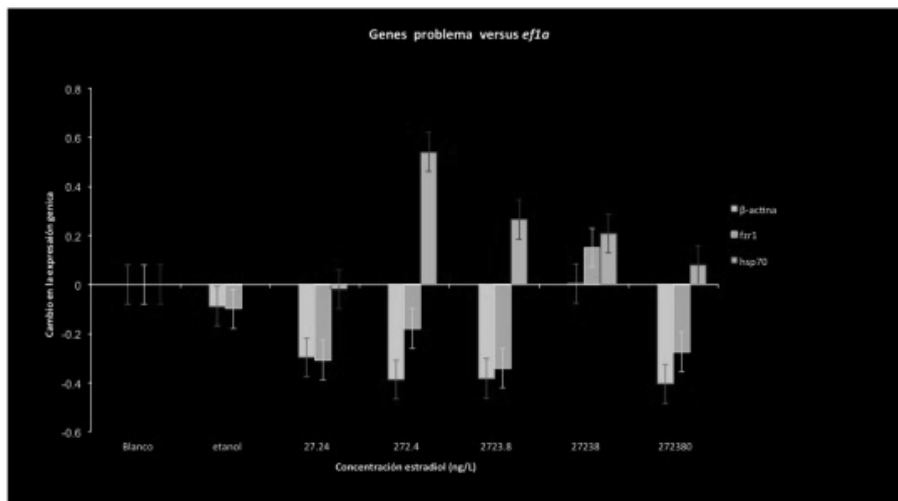


Figura. 2. Niveles de expresión de genes blanco con respecto al gen endógeno *efla* debido a 17β estradiol a 6 h de exposición.

Discusión.

Considerando a β -actina como gen normalizador a 27.24 ng L^{-1} del estrógeno se expresaron *hsp70* y *ahr2*, mientras que *fzr1* no se expresó, en contraste, los tres genes se expresaron a $2.72\text{E}+04 \text{ ng L}^{-1}$. De modo similar y considerando a *efla* como gen normalizador, el gen β -actina se expresó con el etanol, mientras que *gapdh* no se expresó. Considerando al gen *efla* como gen normalizador a 27.24 ng L^{-1} de estrógeno se expresó *ahr2* y se reprimió *fzr1* y *hsp70* no se expresó. A $2.72\text{E}+04 \text{ ng L}^{-1}$ de estradiol se expresaron los tres genes blanco. Finalmente, se observa que 17β estradiol no mostro un patrón de expresión definido de los genes blanco. Nuestra hipótesis es que el modelo utilizado (embrión del pez cebra), al ser un organismo no diferenciado, resulta inadecuado por este tipo de análisis. Con la finalidad de obtener resultados más informativos, se propone analizar la expresión de los genes blanco en el pez adulto, en donde los procesos de diferenciación celular y recambio celular ya se encuentran estabilizados y en donde los genes endógenos se espera que se comporten como tales.

CONCLUSIONES

Si bien varios reportes proponen que los embriones del pez cebra pueden funcionar como biondicadores de contaminantes en agua, nuestros resultados sugieren que el modelo puede ser inadecuado debido al poco nivel de diferenciación tisular del mismo, lo que puede explicar la falta de expresión de algunos de los genes evaluados cuando se analizan muestras con cortos periodos de exposición, lo cual no ocurre cuando el modelo se expone durante un tiempo suficiente como para que alcancen la etapa de alevín, fase de desarrollo que muestra una mayor diferenciación tisular, fenómeno asociado con la mayor actividad transcripcional del genoma del pez. De los genes endógenos seleccionados (β -actina, *efla* y *gapdh*), este último no mostró un patrón de expresión consistente que permita utilizarlo como tal, mientras que β -actina y *efla* muestran variaciones importantes cuando se comparan entre sí, lo que sugiere que alguno de ellos varía en su expresión frente a las diferentes condiciones evaluadas y por lo tanto no puede usarse como endógeno. La investigación se continúa con los análisis para determinar cuál de los dos genes pudiera ser el óptimo para ser utilizado como gen endógeno de control de la expresión.

AGRADECIMIENTOS

A los M. en C. Juan Diego y José Javier Pérez de la Rosa. Departamento de Secuenciación Genómica. Centro Nacional de Servicios de Constatación Animal. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Filby A.L. y Tyler C.R. (2007). Appropriate 'housekeeping' genes for use in expression profiling the effects of environmental estrogens in fish. *BMC Molecular Biology* 8:10.
- Muller PY, Janovjak H, Miserez AR, Dobbie Z. (2002). Processing of gene expression data generated by quantitative real-time RT-PCR. *Biotechniques* 32:1372–1379.
- Muncke J. y Eggen R.I.L. (2006). *Vitellogenin 1 mRNA as an early molecular biomarker for endocrine disruption in developing zebrafish (Danio*

- rerio*). Environmental Toxicology and Chemistry. 25 (10), 2734-2741.
- Poynton H. C. y Vulpe C. D. (2009). *Ecotoxicogenomics: Emerging Technologies for Emerging Contaminants*. Journal of the American Water Resources Association. 45:83–96.
- Scholz S. and Mayer I. (2008) Molecular biomarkers of endocrine disruption in small model fish. Mol Cell Endocrinol 2008 oct 10; 293 (1-2): 57-70.
- Snape, J.R., S.J. Maund, D.B. Pickford, and T.H. Hutchinson, (2004). *Ecotoxicogenomics: The Challenge of Integrating Genomics Into Aquatic and Terrestrial Ecotoxicology*. Aquatic Toxicology 67(2):143-154.

LISTA DE AUTORES Y AUTORAS

Humberto Vaquera Huerta

Doctor en Ciencias en Bioestadística, Tulane University, USA, 1997. Maestría en Ciencias en Estadística Experimental, Colegio de Postgraduados, Mex., 1988. Ingeniero Agrónomo Especialista en Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, Mex., 1986. Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Correo electrónico: hvaquera@colpos.mx.

Alejandro Ivan Aguirre Salado

Maestro en Ciencias en Estadística, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Correo electrónico: aaguirre@colpos.mx.

Travieso Bello A. C.

Facultad de Economía, Universidad Veracruzana, Campus Xalapa. Dirección postal: Av. Xalapa S/N Col. Obrero Campesina. C.P. 91020. Xalapa, Veracruz, México. Teléfono: (228) 8421700, ext. 14217, Fax: (228) 8149990, correo electrónico: anaceciliatravieso@yahoo.com.mx

Oscar A. Viramontes Olivas

Maestro investigador de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, miembro del SNI. Correo: oviramon@uach.mx.te.

Víctor Manuel Gómez Reyes

Maestro Investigador y Director del Centro de Investigación Sobre Sequía, INECOL.

Toutcha Lebgue Keleng

Maestro investigador de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, miembro del SNI.

Ricardo A. Soto Cruz

Maestro investigador de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, miembro del SNI.

Rosa Martínez Ruiz

Doctora en Ciencias en Biotecnología Forestal por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México. Maestra en Ciencias en Ciencias Forestales por la Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniera Agrícola especialista en Agroecosistemas por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora Investigadora en el Programa Forestal y Desarrollo Sustentable de la Universidad Autónoma Indígena de México. Perfil Deseable del PROMEP-SEP. Miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos. Coordinadora Nacional de la Red de Biotecnología de la FAO en México. Correo electrónico: ruizrosa@uaim.edu.mx

Gustavo Enrique Rojo Martínez

Doctor en Ciencias Forestales por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México. Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales por la Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniero Agrícola especialista en Agroecosistemas por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor Investigador en el Programa Forestal y Desarrollo Sustentable de la Universidad Autónoma Indígena de México. Correo electrónico: grojomtz@uaim.edu.mx

Álvarez G. T. B.

CIIDIR – IPN Michoacán, Justo Sierra # 28 Jiquilpan de Juárez Michoacán.

González M. M.

CIIDIR-IPN Unidad Durango. COFAA. Sigma 119. Fracc. 20 de noviembre II. C.P. 34220. Tel. (618)8142091, Fax. (618)8144540. Durango, Dgo. mbgonzalez@ipn.mx.

B. García G. C.

CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz No. 250. Col. San Joachin. C.P. 81000. Guasave, Sinaloa.

Hurtado V. S.

Instituto Tecnológico de Jiquilpan, Carretera Nacional S/N Km 202 Jiquilpan de Juárez Michoacán.

Oyoque S. G.

Ignacio A. Gudiño # 55 Jiquilpan de Juárez Michoacán, México. Tel: 353 53 3 0825. Correo electrónico: flaka_0220@hotmail.com

Angoa P. M. V.

Instituto Tecnológico de Jiquilpan, Carretera Nacional S/N Km 202 Jiquilpan de Juárez Michoacán.

Salvador Martín Medina Torres

Doctor en Ciencias en Botánica por el Colegio de postgraduados. Maestro en Ciencias en Botánica por el Colegio de Postgraduados. Ineniero Agrónomo Zootecnista. Con 25 años de experiencia en actividades de protección, conservación y manejo de fauna silvestre. Profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma Indígena de México, líder de la sublínea de investigación “Gestión de Etnofauna” dentro de la línea general del conocimiento “Recursos Naturales y Agroecosistemas”. Correo electrónico: smedina@uaim.edu.mx

Estuardo Lara Ponce

Ingeniero Agrícola con orientación en agroecosistemas por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. Maestría y Doctorado en Ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional con especialidad en etnoecología por el Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Profesor de tiempo completo en la Universidad Autónoma Indígena de México a nivel del Programa Educativo de Licenciatura Ingeniería Forestal y Postgrado en Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales. Director de Investigación, cuenta con publicaciones en artículos científicos, libros y de difusión tecnológica. Es actualmente responsable de la sublínea de investigación Conocimiento local en regiones y comunidades indígenas y campesinas, perteneciente a la línea de conocimiento de Estudios Socioculturales Indígenas y Campesinos. Correo electrónico: elara@uaim.edu.mx

Hugo Humberto Piña Ruiz

Doctor en Ecología por el Instituto de Ecología de Xalapa. Maestro en Ecología por el IPN. Licenciado en Biología por el Instituto Tecnológico de los Mochis. Profesor Investigador en la Universidad Autónoma Indígena de México, en el área de Ingeniería Forestal y Desarrollo Sustentable.

Aurora Breceda Solís Cámara

Doctora en Ciencias. Profesora Investigadora Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Líneas de Investigación en Biología de conservación, Comunidades vegetales y Sistemas de información geográfica. Correo electrónico: abreceda@cibnor.mx.

Benito Ramírez Valverde

Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Maestría en Ciencias en Estadística, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. Maestría en Estudios Latinoamericanos, Tulane University, Nueva Orleans, Estados Unidos. Ph. D. en Estudios Latinoamericanos, Tulane University, Nueva Orleans, Estados Unidos. Profesor Investigador del Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II. Director de la Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo del Colegio de Postgraduados. Correo electrónico: bramirez@colpos.mx.

J. Guadalupe Michel Parra

J. Guadalupe Michel Parra: Médico Veterinario Zootecnista, con maestría en Ciencias de la Nutrición, diplomado en Manejo de Áreas Naturales Protegidas, publicado más de 60 artículos indexados, 15 libros, director de 62 tesis de licenciatura y maestría y profesor investigador titular B del Centro Universitario del Sur, de la Universidad de Guadalajara. Responsable proyecto de saneamiento lago de Zapotlán y Cuencas. Docencia por 35 años.

David Chávez Chávez

Estudiante de la carrera de arquitectura en el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán Código. 07290685, Participante y organizador 2do y 3er Rally Ecológico Cd Guzmán. Actualmente contribuimos en el proyecto de saneamiento integral de la cuenca de Zapotlán. Participación en la organización del día mundial de los humedales realizado en ciudad Guzmán, Jalisco.

Jaime Alejandro Medina Magallán

Técnico en computación en el área físico-matemático. Estudiante de la carrera de arquitectura en el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán Código. 07290735, Participante y organizador 2do y 3er Rally Ecológico Cd Guzmán. Actualmente contribuimos en el proyecto de saneamiento integral de la cuenca de Zapotlán.

Participación en la organización del día mundial de los humedales realizado en ciudad Guzmán, Jalisco.

Naú Silverio Niño Gutiérrez

Doctor en Geografía por la UNAM y Doctor en Ciencias Ambientales por la UAGRO. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI-CONACYT), Nivel I. Perfil Promep-SEP vigente. Representante del Cuerpo Académico Consolidado “Ambiente y Desarrollo Regional” CA-29-UAGRO. Delegado por la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) para la Olimpiada de Geografía e Historia en el Estado de Guerrero.

Jean Francois Parrot

Doctor en Ciencias de la Tierra por la Sorbona de París. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI-CONACYT), Nivel II. Adscrito al Instituto de Geografía, UNAM con categoría de Investigador Titular “C” de Tiempo Completo. Autor de numerosos libros impresos y artículos electrónicos en idiomas extranjeros como Francés e Inglés en revistas indizadas de reconocido prestigio internacional.

Javier Delgadillo Macías

Doctor en Geografía por la UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SIN-CONACYT), Nivel II. Adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM con categoría de Investigador Titular “C” de Tiempo Completo. Autor de numerosos libros impresos y artículos electrónicos en revistas indizadas de reconocido prestigio internacional. Estancias de investigación en varios países de Iberoamérica.

Eduardo Andrés Sandoval Forero

Investigador-Profesor del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la Población de la Universidad Autónoma del Estado de México. Antropólogo (Escuela Nacional de Antropología e Historia); Maestro en Estudios

Latinoamericanos (UAEM); Doctor en Sociología (Universidad Nacional Autónoma de México); Pos-doctorado en Diversidad Cultural, Democracia y Paz (Instituto de la Paz y los Conflictos, Universidad de Granada, España). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México desde 1995 (nivel II). Correo Electrónico: esaforero2002@yahoo.com.

Franklin Rivera Pineda

Profesor Titular de la Universidad Autónoma de Nicaragua. UNAN-CURM.

José Pedro Juárez Sánchez

Doctor en Geografía por la Universidad de Barcelona, España. Maestro en Ciencias del Programa de Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional por el Colegio de Postgraduados, Campus Puebla-México. Licenciado en Administración Pública por la Universidad Autónoma de Puebla, México. Profesor Investigador Asociado del Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Miembro del Sistema nacional de Investigadores-CONACYT. Correo electrónico: pjuarez@colpos.mx

Dr. Néstor Estrella Chulím

Ph. D. Iowa State University. U.S.A. Maestro en Ciencias en la Rama de Suelos. Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. Ingeniero Agrónomo en Suelos, Escuela Nacional de Agricultura «Chapingo», México. Profesor Investigador Adjunto del Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Correo Electrónico: nestrela@colpos.mx.

Gustavo Ramírez Valverde

Doctor en Estadísticas por Tulane University, USA, 1996, Estadística Experimental, Maestro en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Mex, 1989. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Chapingo, Mex, 1986. Profesor Investigador, Colegio de Postgraduados. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I. Correo electrónico: gramirez@colpos.mx.

Jorge Javier Ramírez García

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química, Laboratorios de Análisis Instrumental y Ciencias Ambientales. Paseo Colón esquina Paseo Tollocan; Colonia. Residencial Colón. Toluca, Estado de México. C.P. 50180. Tel: +52 (722) 2 80 90 94 Ext. 113, Fax: +52 (722) 2 17 38 90. Correo electrónico: jjramirezg@uaemex.mx

Arturo Colín Cruz

Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Química, Laboratorios de Análisis Instrumental y Ciencias Ambientales. Paseo Colón esquina Paseo Tollocan; Colonia. Residencial Colón. Toluca, Estado de México. C.P. 50180. Tel: +52 (722) 2 80 90 94 Ext. 113, Fax: +52 (722) 2 17 38 90.

Requena Pavón G.C.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030. gcrp40 @ hotmail.com

Agraz Hernández C.M.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

Osti Saénz J.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

Reyes Castellanos J.E.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

Chan Keb C.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

García Zaragoza C.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

Chan Canul E.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

Vazquez Botello A.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.

J. Guadalupe Michel Parra

Medico Veterinario Zootecnista, Maestría en Ciencias de la Nutrición, diplomado en Manejo de Áreas Naturales Protegidas, 60 artículos indexados, publicados, 15 libros, director de 62 tesis de licenciatura y maestría, profesor investigador titular B del Centro Universitario del Sur, en la Universidad de Guadalajara, responsable de proyecto de saneamiento integral de la cuenca de Zapotlán, docencia durante de 35 años. Centro Universitario del Sur Departamento de Desarrollo Regional. Universidad de Guadalajara. Av. Enrique Arreola Silva 888. Cd. Guzmán, Jalisco Tel.341-5752222 ex.46074. Correo electrónico: michelp@cusur.udg.mx,

Ana Lizeth Iñiguez Chavez

Medico Veterinario Zootecnista, Carrera técnica en Computación y físico matemático, Publicación de 10 artículos sobre rehabilitación del lago de Zapotlán y cuencas indexados, coautor de 4 libros sobre humedales, programas de manejo y aprovechamiento; sistemas productivos agropecuarios y pesqueros,

corresponsable del proyecto de saneamiento integral de lago Zapotlán y cuencas. Docencia en epidemiología y asistente en sociología rural en la Universidad de Guadalajara. Centro Universitario del Sur Departamento de Desarrollo Regional. Universidad de Guadalajara. Av. Enrique Arreola Silva 888. Cd. Guzmán, Jalisco Tel.341-5752222 ex.46074. Correo electrónico: rodoliz@hotmail.com

José Raúl Jiménez Botello

Ing. Industrial, Maestría en Administración, profesor de asignatura en el Centro Universitario del Sur de la Universidad de Guadalajara. 6 artículos indexados, y participa en el proyecto de saneamiento integral del lago de Zapotlán y cuencas. Director de promoción económica en el municipio de Zapotlan el Grande Jalisco periodo 2006-2009. Organizador d eventos internacionales sobre sustentabilidad ambiental. Centro Universitario del Sur Departamento de Desarrollo Regional. Universidad de Guadalajara. Av. Enrique Arreola Silva 888. Cd. Guzmán, Jalisco Tel.341-5752222 ex.46074. Correo electrónico: ingjimenezb@hotmail.com.

Juana Sánchez Alarcón

Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Calle del Bosque S/N Tlaxcala Centro C.P. 90000, Tlax., México.

José Luis Gómez Olivares

División de Ciencias Biológicas y de la Salud, UAM-Iztapalapa.

Stefan M. Waliszewki

Instituto de Medicina Forense, Universidad Veracruzana

José M.R. Montiel González

Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Calle del Bosque S/N Tlaxcala Centro C.P. 90000, Tlax., México.

J. Antonio Guevara García

Facultad de Ingeniería y Tecnología, UATx

Rafael Valencia Quintana

Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Calle del Bosque S/N Tlaxcala Centro C.P. 90000, Tlax., México. Correo electrónico: prvq2004@yahoo.com.mx.

Requena Pavón G.C.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030. Correo electrónico: gcrp40@hotmail.com

Agraz Hernández, C.M.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

Vazquez Botello A.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM.

Osti Saénz, J.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

Reyes- Castellanos J.E.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

Chan-Keb C. 1

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

García Zaragoza C.

Centro EPOMEX. Universidad Autónoma de Campeche. Av. Agustín Melgar s/n entre Juan de la Barrera y Calle 20. Campeche.24030.

María Guadalupe Ibarra Ceceña

Doctora en Ciencias en Economía por la UAM. Maestra en Ciencias por la Universidad Autónoma de Durango. Profesor Investigador de la Universidad Autónoma Indígena de México. Actualmente Directora de Desarrollo Académico y Secretaria de la Academia Nacional de Ciencias Ambientales. Madero 20, Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. C.P. 81890. Tel. y Fax: (698) 89- 210-90. Ext. 104. Correo electrónico: mgibarra@uaim.edu.mx.

José Antonio Santiago Lastra

Profesor investigador. Universidad Intercultural de Chiapas

Miriam López Carmona

Encargada del área de capacitación y formación académica. Biodiversidad: Conservación y Restauración, A. C.

Mari Sandra Espinoza Guzmán

Estudiante de la Licenciatura en Desarrollo Sustentable. Universidad Intercultural de Chiapas.

Maria Elena Moshán Álvarez

Estudiante de la Licenciatura en Desarrollo Sustentable. Universidad Intercultural de Chiapas.

Juan Gabriel Gómez Hernández

Estudiante de la Licenciatura en Desarrollo Sustentable. Universidad Intercultural de Chiapas.

Sandoval Villasana A.M.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Correo electrónico: amsandov@tlaloc.imta.mx

Cervantes Dacasa F.R.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)

Hernández Romano J.

Universidad Politécnica del Estado de Morelos (UPEMOR)
Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550.
Tel. 777 3293623, Fax 777 3293664

González Sánchez A.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)
Universidad Politécnica del Estado de Morelos (UPEMOR)
Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550.
Tel. 777 3293623, Fax 777 3293664.

González Sánchez A.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)
Universidad Politécnica del Estado de Morelos (UPEMOR)
Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550.
Tel. 777 3293623, Fax 777 3293664

Medrano Vaca M.G.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)

González Rodrigo

Departamento de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente del Instituto Tecnológico de Sonora, 5 de Febrero 818 Sur C.P. 85000. Ciudad Obregón Sonora. rodrigo.gonzalez@itson.edu.mx.

Fonseca M.

Tesista de Ingeniería en Ciencias Ambientales del Instituto Tecnológico de Sonora.

Marín L.E.

Departamento de Recurso Naturales del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Beatriz Pérez Armendáriz

Ingeniero en Alimentos egresada de la Universidad Autónoma Metropolitana. Realizó la Maestría en Biotecnología en la Universidad Autónoma Metropolitana, posteriormente realizó su doctorado en Ciencias con especialidad en Biotecnología en el Centro de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Realizó su estancia postdoctoral en el Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Ha trabajado en diferentes Instituciones de educación superior en la Universidad Autónoma Metropolitana, Instituto Tecnológico de Puebla y desde 2009 trabaja en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. La Dra. Pérez es evaluadora de los programas de PNPC-CONACYT 2009, evaluadora de proyectos FOMIX estado de Hidalgo 2009-2010, evaluadora de proyectos en el área de VII de CONACYT. Cuenta con 15 publicaciones en las áreas Biotecnología alimentaria y Biotecnología ambiental.

Juan Francisco Escobedo Castillo

Es Ingeniero Agrónomo especialista en Agroindustrias por la Escuela Nacional de Agricultura, hoy Universidad Autónoma Chapingo. Maestro en Ciencias en Desarrollo Rural por el Centro de Estudios del Desarrollo Rural del Colegio de Postgraduados y Doctor en Ciencias en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional del Colegio de Postgraduados Campus Puebla. El Dr. Escobedo es profesor Investigador del Colegio de Postgraduados y especialista en Desarrollo Rural.

***“RECURSOS NATURALES Y
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL”*** se
terminó de imprimir en mayo de dos
mil doce. Se tiraron mil ejemplares en
los talleres de la imprenta universitaria.



DIRECTORIO ANCA

Dr. Rafael Villalobos Pietrini
Presidente Honorario
UNAM

M. en C. Gustavo Pedraza Aboytes
Presidente
Universidad Autónoma de Querétaro

M. en C. Isidoro Beltrán Verduzco
Tesorero
Universidad Autónoma Indígena de México

Dra. María Guadalupe Ibarra Ceceña
Secretaria
Universidad Autónoma Indígena de México

VOCALES

Mtro. Rodrigo González Enríquez
Instituto Tecnológico de Sonora

Dr. Arturo Colín Cruz
Dr. Delfino Madrigal Uribe
Dr. Carlos Alberto Pérez Ramírez
Universidad Autónoma del Estado de México

Dra. Laura Sampetro Rosas
Dr. Justiniano González González
Universidad Autónoma de Guerrero

Dr. Alberto José Gordillo Martínez
Dra. Griselda Pulido Flores
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

M. en C. Antonio Aranda Regalado
M. en C. Miguel Ángel Rico Rodríguez
M. en C. Gustavo Pedraza Aboytes
Universidad Autónoma de Querétaro

Dra. Laura Ortiz Hernández
Dr. Enrique Sánchez Salinas
Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Dr. Gunther Geissler
Dr. Miguel Ángel Valera Pérez
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Dr. Pedro Rafael Valencia Quintana
M. en C. José Mariano Rigoberto Montiel
González

M. en C. A. Juana Sánchez Alarcón
Universidad Autónoma de Tlaxcala

Dra. Sandra Gómez Arroyo
Dr. Rafael Villalobos Pietrini
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Stefan Waliszewski Kubiak
Universidad Veracruzana

Dr. en C. Raudel Ramos Olmos
Universidad Autónoma de Baja California

M. en C. Hermilo Santoyo Reyes
Universidad Autónoma de Baja California Sur

M. en C. Evaristo Méndez Gómez
Instituto Tecnológico del Mar Mazatlán

Dra. María del Carmen Martínez Valenzuela
Universidad de Occidente, Los Mochis.

Dr. Manuel Sosa Cerecedo
Dr. Toretcho Lebeque
Universidad Autónoma de Chihuahua

Biol. Alberto Pereira Corona
Biol. Benito Prezas Hernández
Universidad de Quintana Roo

Dr. Ignacio Villanueva Fierro
CIIDIR-IPN Durango
Dr. Marín Villa Ibarra
ITESCA

Mtro. Héctor Duarte Tagles
CESUES

Mtra. Gisela Campos Ángeles
Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca

Dra. Ma. Guadalupe Ibarra Ceceña
Dr. Gustavo Enrique Rojo Martínez
Universidad Autónoma Indígena de México

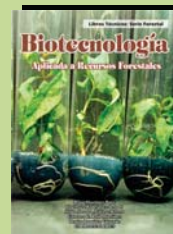
Dra. Alba Yadira Corral Avitia
M. en C. Katya Aimée Carrasco Urrutia
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez



Gustavo Enrique Rojo Martínez

Doctor en Ciencias Forestales por el Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo, Estado de México. Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales por la Universidad Autónoma Chapingo. Ingeniero Agrícola especialista en Agroecosistemas por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor Investigador en el Programa Forestal y Desarrollo Sustentable de la Universidad Autónoma Indígena de México. Director de la revista *Ra Ximhai* de la UAIM. Correo electrónico: grojomtz@uaim.edu.mx

Otros títulos:



Esta investigación, arbitrada por pares académicos, se privilegia con el aval de la institución coeditadora.

Con la publicación del **Informe del Club de Roma** sobre los límites del crecimiento, se inicia la toma de conciencia a nivel global, sobre los problemas del medio ambiente. Sin embargo, no solamente se requiere conservar los recursos que se tienen, sino tomar decisiones para recuperar el terreno perdido a partir de los diferentes conocimientos que se han desarrollado. En esta época con tantos problemas por resolver, con protocolos internacionales dirigidos a disminuir la contaminación, firmados y no cumplidos por algunos países, con catástrofes ambientales y naturales y vaticinios terribles debido a la devastación ambiental. Es importante la lectura de libros como “Recursos naturales y contaminación ambiental”, con investigaciones sobre medio ambiente, los riesgos ambientales y los conflictos sociales, en torno a los recursos naturales cada vez más escasos. Este libro contiene el análisis de diferentes problemáticas; agua, suelo, sistemas productivos, educación, contaminación, planeación de recursos naturales, impacto ambiental que incluye al ser humano. Entre otros trabajos, se presenta un estudio de modelación estadística para estimar riesgos de inundación, se revisan aspectos de la fauna y ambiente y finalmente se presenta un estudio sobre la educación como alternativa y creadora de conciencia respecto a los problemas ambientales y la paz.

Dra. Rocío Rosas Vargas.
Profesora-Investigadora, Universidad de Guanajuato.
Departamento de Estudios Sociales.
Miembro del Sistema Nacional de Investigadores-CONACYT.

