

Contaminación Agrícola y Erosión en la Cuenca del Lago Chapala



Lago Chapala
Jalisco, México 2013

CONTAMINACIÓN AGRÍCOLA Y EROSIÓN EN LA CUENCA DEL LAGO CHAPALA

Alejandro Juárez Aguilar (coordinador)

Con la colaboración de:

**José Teodoro Silva García, Laura Dávalos-Lind, Owen Lind,
Salvador Ochoa Estrada, Rodrigo Moncayo Estrada,
Carlos Escalera Gallardo, Adalberto Díaz Vera,
Francisco Quintero Miranda, Gustavo Cruz Cárdenas y
René Velázquez Moreno.**

La publicación del libro Contaminación Agrícola y Erosión en la Cuenca del Lago de Chapala se realizó como parte del proyecto “Caracterización y Diagnóstico de la Contaminación en la Subcuenca Chapala (cuenca Lerma-Chapala) e Instrumentos de Participación Plural para su Prevención y Control”, realizado con el apoyo financiero del Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, en su convocatoria 2010-II (clave de proyecto 143145).

El proyecto fue cofinanciado por el Fideicomiso para el Desarrollo de la Región Centro-Occidente (FIDERCO) y la Secretaría de Planeación del Estado de Jalisco.

Imágenes de portada: Fotografías del proyecto.

Diseño gráfico: Sophia Zepeda Rodríguez

Corrección de estilo: Gabriela Torres y Alejandro Juárez.

D.R. 2013. Corazón de la Tierra-Instituto de Desarrollo Ambiental
Ramón Castañeda No. 979 Colonia Miraflores, Guadalajara, México.

C.P. 44270 corazondelatierra@gmail.com

www.corazondelatierra.org.mx

Primera edición, 2013.

Ninguna parte de este libro puede ser reproducido, guardado en dispositivos de almacenamiento o transmitido de cualquier forma o medio, ya sea mecánico, fotocopiado, electrónico, microfilmado, grabado o similares, sin permiso por escrito del editor.

Impreso y hecho en México

INSTANCIAS DE INVESTIGACIÓN

Corazón de la Tierra-Instituto de Desarrollo Ambiental

Centro de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR)-campus Jiquilpan; Instituto Politécnico Nacional

Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO), Universidad Veracruzana

Center for Reservoir and Aquatic Ecosystems Research (CRASR), Baylor University.

Scientific Committee, International Lake Environment Committee Foundation (ILEC).

INSTANCIAS FINANCIADORAS

Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Fideicomiso para el Desarrollo de la Región Centro Occidente (FIDERCO)

Secretaría de Planeación (SEPLAN) del Estado de Jalisco.

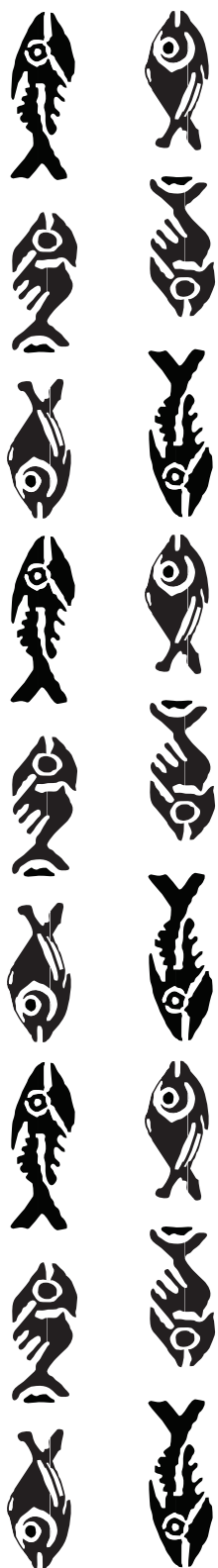
AGRADECIMIENTOS

La realización de este proyecto debe mucho a diversos investigadores, funcionarios y otras personas que lo apoyaron en sus diferentes etapas, se agradece en particular a:

Guillermo Woo (FIDERCO), Helena Cotler (Instituto Nacional de Ecología), Carlos Anguiano, Yered Canchola, Martha Ruth del Toro, Eduardo González Hernández, Antonio Ordorica, César Coll Carabias y Héctor Castañeda Nañez (Estado de Jalisco), Jaime Álvarez Gallegos y Guillermo Herrera Arreola (Instituto Politécnico Nacional), Hironori Hamanaka, Masahisa Nakamura, Walter Rast, Thomas Ballatore (ILEC), Katsuya Tanaka (Shiga University), Beverly Saunders (Texas State University) y Hebin Lin (Kyoto University). A todos ellos y a los equipos de trabajo administrativo y técnico de las instituciones involucradas les externamos nuestro sincero reconocimiento.

ÍNDICE

Prefacio Walter Rast	13
Introducción Alejandro Juarez Aguilar	21
Capítulo 1. Características de la subcuenca Chapala Alejandro Juarez Aguilar	27
Capítulo 2. Aporte de nutrientes de fuentes puntuales y difusas de la subcuenca del Lago de Chapala y su potencial para promover crecimiento algal Laura Dávalos-Lind, Owen T. Lind, Gabriela Velarde, Edgar Rojero Vázquez, Jessica Thompson, Gloria Stefanny Hernández Ortíz, Jennifer Sambrano, Karen Martínez Cano, Enrique Mora López	51
Capítulo 3. Pérdida de suelo en la subcuenca Chapala Salvador Ochoa Estrada, Alejandro Juárez Aguilar, René Velázquez Moreno, Luis Ángel Zárate Lara	71
Capítulo 4. La actividad agrícola y el uso de agroquímicos en la subcuenca Chapala. Maribel Rivera, Rodrigo Moncayo Estrada, Carlos Escalera Gallardo, Alejandro Juárez Aguilar, Nayeli Pérez Olivares	85
Capítulo 5. Construcción del Sistema de Información Geográfica de la subcuenca Chapala Adalberto Díaz-Vera, Francisco Quintero Miranda, Edgar Isaac Ramírez Lindoro, René Velázquez Moreno, Alejandro Juárez Aguilar	107
Capítulo 6. Aplicación del modelo SWAT para evaluar la calidad actual y potencial de la subcuenca Chapala Dinora Bautista, Gustavo Cruz-Cárdenas, Rodrigo Moncayo Estrada, José Teodoro Silva García	127
Capítulo 7. Plataforma de Participación Múltiple para el control de la contaminación difusa en la subcuenca Chapala Alejandro Juarez Aguilar y René Velázquez Moreno	147
Conclusiones y recomendaciones	163
Sección de mapas	169





PREFACIO

Dr. Walter Rast

Profesor emérito y Director de Estudios de Cuencas Internacionales,
Centro Meadows para el Agua y el Medio Ambiente, Texas State University;

Vice-Presidente del Comité Científico del Comité Internacional del Ambiente de Lagos (ILEC).

Situado entre los estados de Jalisco y Michoacán, México; el Lago Chapala es uno de los tesoros acuáticos de la República Mexicana. Al ser el cuerpo natural de agua dulce de mayor tamaño de México, su importancia no puede ser subestimada; entre otros aspectos porque la ciudad de Guadalajara (la segunda más poblada del país) ha confiado en él como fuente principal de agua desde la década de 1950. El lago forma parte de la cuenca Lerma-Chapala, la cual suministra también agua para atender las necesidades de la Ciudad de México, capital de la nación. Estas necesidades entre aguas arriba-aguas abajo, a veces conflictivas, pueden afectar significativamente al lago y a su cuenca. Inundaciones y sequías también han tenido anteriormente un impacto dramático en la cantidad y la calidad de las aguas del lago, así como en su importante ecología.

Este prefacio toca sólo superficialmente la importancia del Lago Chapala para los habitantes de su cuenca directa (también denominada subcuenca Chapala). Como sitio turístico importante, la calidad ambiental del lago y de su entorno es un componente prioritario para la economía de la subcuenca; ésta alberga un gran número de ciudades y pueblos y permite las actividades económicas que mantienen a sus habitantes, entre estas la amplia realización de actividades agrícolas. Este uso es especialmente destacable, dado que el riego agrícola por lo general requiere grandes cantidades de agua para mantener una actividad económicamente viable.

El Lago Chapala también tiene un alto valor natural: es un hábitat crítico para varias especies de aves migratorias que lo utilizan para descansar y recuperarse en sus viajes entre Canadá-Estados Unidos-México y, en algunos casos, Centroamérica. Asimismo, la subcuenca proporciona hábitat para miles de plantas y animales nativos (tanto acuáticos como terrestres) que dependen de la misma para su sustento.

En este contexto, la sostenibilidad del Lago Chapala, sus recursos y su cuenca depende de prestar atención a una serie de factores relacionados entre sí, en su mayoría de origen humano. El famoso limnólogo sueco, Dr. Malin Falkenmark, describió a los lagos como “las perlas en el collar de un río.” Esto es a la vez una visión literal y figurativa que destaca el importante papel de los lagos en una cuenca fluvial. Con la capacidad de almacenar agua de los afluentes, el Lago Chapala representa un amortiguador frente a la escasez de agua y la ocurrencia de inundaciones. En el primer caso, el lago alberga agua para uso humano y de los ecosistemas durante períodos en que las precipitaciones son escasas. En el otro extremo, el lago proporciona un medio para almacenar grandes cantidades de agua durante condiciones de inundación, lo que permite liberarla después en una forma más controlada, minimizando de este modo la afectación a vidas y propiedades.

El papel del Lago Chapala en el cambio de condición de agua que

fluye (lótica, característica de sus afluentes) a la de agua que se mantiene almacenada (léntica, condición que adquiere al entrar al lago), también es de gran importancia. Debido a que el lago recibe grandes cantidades de líquido de su cuenca circundante, así como los materiales arrastrados por dichas aguas, cumple la función de “sumidero” para estos materiales, lo que representa una situación de doble filo para el ecosistema acuático. Por un lado, puede capturar dichos materiales de la columna de agua (incluyendo contaminantes como nutrientes, metales pesados y pesticidas) y depositarlos como sedimentos, lo que aumenta la pureza del agua; por otro, estos mismos contaminantes pueden acumularse hasta llegar a generar consecuencias ambientales y en la salud humana. Por tanto, el Lago Chapala puede ver como un “espejo” de los impactos de las actividades humanas en la cuenca hidrológica. Al igual que otros lagos, el Chapala tiene características especiales que facilitan estos impactos: uno de ellos es el largo período que el agua pasa en el lago, en comparación con los ríos que lo alimentan, es decir, los contaminantes que entran en el lago pueden permanecer en él durante mucho tiempo. Por lo tanto, los cambios en la calidad del agua en el lago ocurren lentamente y de manera incremental, y sólo se hacen evidentes después de una degradación significativa, que ya haya afectado el ecosistema. Por la misma razón, la respuesta del Lago Chapala a las acciones de conservación y mejoramiento también pueden requerir de un largo período para mostrar sus efectos, un rasgo que puede ser desalentador para los administradores y diseñadores de políticas de manejo del lago, así como para el público que exige acciones rápidas para mejorar su condición. Además, el lago presenta un carácter integrador de los materiales que entran procedentes de su cuenca: todo interacciona dentro del lago, tanto la cantidad como la calidad del agua.

La naturaleza del Lago Chapala es compleja y no responde de manera lineal a los contaminantes que entran en ella, en gran parte debido a su volumen relativamente grande y al mayor tiempo de residencia del agua, en comparación con el de los ríos. Así, los cambios en la calidad del agua del Lago Chapala son impredecibles y, una vez que un grado significativo de degradación haya tenido lugar, con frecuencia serán incontrolables.

Situaciones ocurridas en el pasado muestran que el Lago Chapala no es inmune a estos efectos. Los últimos diez años fluctuaron entre la sequía y las condiciones de inundación en la cuenca, con consiguientes efectos sobre la cantidad y calidad del líquido en el lago. Los numerosos asentamientos humanos y las extensas actividades agrícolas en la subcuenca permiten asegurar que la contaminación causada por el hombre seguirá siendo un problema importante. La contaminación por fuentes puntuales (procedente de aguas residuales industriales y municipales) reduce el valor del agua para las actividades humanas, además de provocar impactos negativos en los ecosistemas. Sin embargo, la amenaza de la contami-

nación generada por fuentes difusas es muy diferente. Ésta consta de la escorrentía generada por las tormentas al caer sobre campos agrícolas y áreas urbanas: el rápido movimiento del agua sobre la superficie lava los contaminantes y los arrastra al lago a través de sus ríos tributarios. Tal situación está comprobada por experiencias y estudios en todo el mundo, indicando que toda una serie de contaminantes dañinos pueden llegar a lagos y ríos desde fuentes lejanas y dispersas. En el lago, es particularmente problemática la contaminación de fuentes no puntuales, principalmente procedente de tierras agrícolas. La Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA por sus siglas en inglés), ha identificado la escorrentía agrícola como la mayor fuente de contaminantes de los cuerpos de agua dulce. Los principales contaminantes agrícolas de fuentes dispersas en la subcuenca Chapala son los sedimentos de las tierras erosionadas, los fertilizantes utilizados para mejorar el crecimiento de los cultivos y diversos plaguicidas usados para combatir insectos y otros organismos que amenazan la producción agrícola. También los residuos ganaderos pueden ser un factor de importancia a considerar en la escorrentía agrícola.

De hecho, el presente libro pone de manifiesto que los productos agroquímicos utilizados en la subcuenca Chapala se emplean con frecuencia en niveles superiores a los recomendados por los fabricantes. El uso de fertilizantes y pesticidas es alto (del orden de 25,000 toneladas por año) los cuales incluyen en sus fórmulas algunas sustancias altamente tóxicas, como el metil paratión y el carbofurano. Múltiples estudios en el mundo a lo largo de décadas demuestran claramente los efectos negativos de los productos químicos-orgánico-sintéticos en los seres humanos, incluyendo la aparición de cáncer, tumores y/o defectos de nacimiento. Estos productos químicos también tienen impactos potencialmente graves en los peces, aves y otros organismos que utilizan las aguas del Lago Chapala, ya sea directa o indirectamente. Dichos efectos son capaces de extenderse a lo largo de las cadenas alimentarias del cuerpo de agua. Sin embargo, debido a que en Chapala no han sido regularmente monitoreados, no existían (hasta la elaboración de este estudio) datos fiables sobre los niveles de tales productos en el lago o en la subcuenca circundante.

Otro problema grave en la subcuenca Chapala es la pérdida de fertilidad del suelo, debido (al menos en parte) a la erosión generada por la lluvia, en particular en las áreas que han sufrido cambio de uso del suelo. La pérdida de fertilidad incide en la baja de producción, lo que propicia un mayor uso de fertilizantes, lo que a su vez aumenta el empobrecimiento del sector agrícola. Los cultivos realizados en zonas de ladera (con altas pendientes) sufren una rápida erosión, hasta 600% mayor que la observada en cultivos de temporal localizados en zonas planas. Esto provoca que para mantener la producción de alimentos, así sea escasa, los agricultores de ladera terminan utilizando más agroquímicos por hectárea. Así, resulta

ser que los campesinos de menores ingresos son quienes gastan más y con ello producen los mayores volúmenes de contaminación difusa por unidad de superficie.

La deforestación, junto con el arrastre de contaminantes difusos, contribuye de manera significativa a la carga de sólidos disueltos en el lago. Esto se debe a que este tiene una profundidad media relativamente baja (7.7 metros), y la carga de sedimentos disminuye aún más la profundidad del lago, lo que disminuye su capacidad para almacenar agua. Por todo lo anterior, resulta claro que la contaminación por fuentes difusas es un tema importante, tanto en términos ambientales como económicos.

Resulta irónico, si se toman en cuenta tales realidades ambientales, que los sectores con mayor responsabilidad en la generación de la contaminación difusa parecen carentes de preocupación por sus impactos. Se destaca en este informe la resistencia de los sectores agrícolas de riego, de temporal y de ladera a reducir el uso de pesticidas y fertilizantes, presumiblemente bajo la suposición de que esta medida reduciría la producción de los cultivos, con consecuencias financieras negativas. El sector gubernamental parece compartir este punto de vista, probablemente debido al supuesto impacto negativo en el desarrollo económico de la subcuenca si se disminuye el uso de pesticidas y fertilizantes. Una razón de este rechazo es la falta de información sobre los riesgos de estos contaminantes para la salud humana y del medio ambiente en la cuenca del Lago Chapala.

De hecho, los resultados del estudio muestran que todos los sectores coinciden en la necesidad de reducir la pobreza y proteger la salud humana, incluso aquellos que se muestran indiferentes a controlar el uso de pesticidas y fertilizantes, reducir la erosión y la deforestación y proteger la vida silvestre, todo lo cual se relaciona de forma directa o indirecta con el desarrollo de una producción agrícola sostenible.

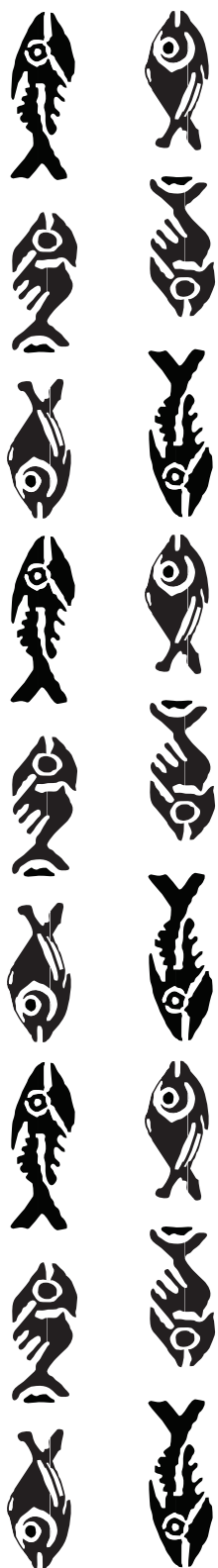
Los problemas de contaminación difusa seguirán afectando a la humanidad mientras nos esforcemos para satisfacer las necesidades de alimentos y otros requerimientos materiales. Esta es una realidad tanto en la subcuenca Chapala como en otras cuencas, lagos, embalses, ríos y acuíferos subterráneos alrededor del mundo. Está claro que para reducir esta grave situación debe prestarse una mayor y más comprometida atención a la difícil situación de la contaminación difusa, incluyendo sus fuentes y posibles impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. Algunas posibles acciones para la subcuenca Chapala se describen en este informe: (1) la amplia difusión de datos e información entre el sector gubernamental acerca de los tipos y volúmenes de agroquímicos reportados y sus posibles impactos en la cuenca del lago, (2) una mayor difusión de los conocimientos de los agricultores orgánicos hacia otros grupos de produc-

tores en la cuenca del lago, y (3) la oportuna participación de organizaciones de la sociedad civil y universidades en la difusión de dicha información, como medio para reducir la polarización de puntos de vista y la posibilidad de conflictos sociales.

La gobernanza del agua también es pobre en la subcuenca Chapala, debido a factores como la baja efectividad institucional y la falta de coordinación, la escasa prioridad dada a los temas de manejo de cuencas, y el desconocimiento por parte de los agricultores con respecto a las causas y consecuencias de la contaminación por fuentes difusas. La imperiosa necesidad de involucrar a los grupos locales para resolver el problema de contaminación ha sido ampliamente ignorada. El manejo adecuado de las especies silvestres con categoría de protección también es esencial, teniendo en cuenta su valor ecológico y económico para el gobierno mexicano, la Red Hemisférica de Aves Playeras, la Convención Ramsar, así como el alto valor de la producción biológica y sus vínculos con la economía de la cuenca del Lago Chapala.

Por desgracia, la situación de la subcuenca Chapala no es única, situaciones similares son evidentes en muchos países del mundo. Esta fue una de las principales razones por las que el Comité Internacional del Ambiente de Lagos (ILEC por sus siglas en inglés) desarrolló el concepto de Manejo Integral de Cuencas y Cuerpos de Agua (Integrated Lake Basin Management-ILBM), una plataforma para abordar e integrar temas e inquietudes tan dispares como los graves y complejos temas de la salud humana y ecosistémica asociados con la contaminación de fuentes no puntuales. Con fundamento en seis pilares de gobernanza (Políticas de manejo, Instituciones, Financiamiento, Tecnología, Información y Participación) el ILBM se ha aplicado en numerosas cuencas lacustres y embalses en todo el mundo, entre las que se incluyen China, India, Japón, Kenia, Malasia, Nepal, Filipinas, Tailandia y Zimbabue. Los resultados de su aplicación han sido sumamente alentadores; actualmente esta plataforma se utiliza como un enfoque nacional para la gestión de cuencas de lagos en varios países, después de haber celebrado consultas con participación de instancias gubernamentales, organismos de la sociedad civil, sectores industriales, académicos y organizaciones ambientales. El ILBM también se ha utilizado de forma catalítica en la cuenca del Lago Chapala desde el año 2008, con participación de organizaciones gubernamentales (federales, estatales y municipales), centros de investigación, universidades y otros sectores. De hecho, los elementos del ILBM se han utilizado en otras de las regiones de la cuenca Lerma-Chapala como medio para facilitar la sostenibilidad a nivel subcuencas. El enfoque ILBM es claramente relevante para los problemas de contaminación difusa identificados y discutidos en este documento. En consecuencia, un mayor uso de la plataforma ILBM, así como de las expe-

riencias y lecciones generadas por la misma en otras cuencas lacustres del mundo no sólo es deseable, sino también muy recomendable para este importante ecosistema acuático mexicano.





INTRODUCCIÓN

M. en C. Alejandro Juárez Aguilar

Director General, Corazón de la Tierra - Instituto de Desarrollo Ambiental,
Jalisco, México.

Esta investigación surgió para resolver una serie de preguntas sobre lo que ocurre en el Lago Chapala y su cuenca. Las preguntas, a su vez, surgieron del análisis de conclusiones y recomendaciones de diversos encuentros, foros y congresos sobre el tema, realizados entre 1999 y 2010. Resalta dentro de los mismos una amplia percepción de que hay “demasiada investigación” y pocas acciones de manejo para el lago. Como lo expresó un participante del XIII Congreso de Lagos Vivos, realizado a las orillas de Chapala en 2011: “Este lago es el más estudiado del mundo”. Otras voces ciudadanas se han manifestado en el mismo sentido, tanto en congresos y foros como en otras reuniones formales e informales en la ribera del lago.

Pero, ¿es esto cierto? Analizando otra fuente de información -las notas periodísticas del período 1999-2010- es fácil identificar un tema central: la preocupación por el volumen de almacenamiento. El mayor número de notas que reflejan las acciones de movilización de grupos ciudadanos así como las declaraciones gubernamentales vinculadas, coinciden con períodos de sequía (en particular entre 1999-2002). Tras el intenso período de lluvias de 2002-2003 y la evidente recuperación del cuerpo de agua, la preocupación social aminoró fuertemente. Sin embargo, el tema del volumen se volvió tan visible que la Comisión Estatal del Agua de Jalisco comenzó a reportar (y lo hace aún hoy) las variaciones diarias de volumen del Lago Chapala en su página web, información que es seguida y reproducida por periódicos, radiodifusoras y televisoras.

En este sentido, en efecto, se tiene mucha información, difundida de forma amplia y cotidiana. Si el Lago Chapala fuera un tanque de agua sin duda esto sería suficiente, pero este Humedal de Importancia Internacional (sitio Ramsar, categoría obtenida en 2009) es mucho más que la cantidad de líquido que alberga. El Lago Chapala es un ecosistema complejo que permite la existencia (literalmente) de miles de especies vegetales y animales, con el valor de biodiversidad que ello implica, además de proporcionar servicios ambientales indispensables para la sobrevivencia y bienestar de millones de personas en Michoacán y Jalisco. El vaso funciona como control de inundaciones cuando el temporal es abundante y como espacio de suministro en las sequías; abastece de agua para fines agrícolas, industriales y urbanos a 11 municipios ribereños y a la Zona Conurbada de Guadalajara; provee de ingresos directos e indirectos a pescadores y prestadores de servicios turísticos; representa valores culturales y de identidad de importancia para los habitantes de sus orillas y para el pueblo wixarica (huichol), además del valor histórico nacional de muchas de las acciones desarrolladas desde tiempos prehispánicos y coloniales; asimismo regula la temperatura y humedad atmosférica en 50 kilómetros a la redonda para beneficio de zonas urbanas y bosques secos y templados.

La mayor parte de estas características resultan desconocidas

para el público y son escasamente consideradas por las autoridades de gobierno, lo que se refleja en la reducida cantidad de investigaciones existentes sobre dichos temas, lo que a su vez limita la posibilidad de hacer un buen manejo del lago: sin los datos necesarios, se corre el riesgo de tomar decisiones a ciegas, o de simplemente no tomarlas. El agua es un componente esencial de este ecosistema acuático pero no es el único, de la misma forma que un bosque es mucho más que un montón de árboles. De esta forma y regresando a la pregunta de si en efecto existe mucha información sobre el Lago Chapala y su cuenca, la respuesta sería “Sí” sobre un tópico único (el volumen almacenado), pero “No” para la mayoría de los otros temas de importancia en relación con el manejo del cuerpo de agua.

Algunos temas clave para el manejo de lagos reconocidos en gran parte del mundo, tanto en países de Europa como de Asia, Estados Unidos, Canadá y América Latina son los siguientes: la identificación de las fuentes de contaminación por agrofertilizantes (debido a que al ser arrastrados por la lluvia incrementan los nutrientes disueltos en el agua y con ello modifican toda la red trófica que incluye plancton, peces, anfibios, etcétera), la presencia de pesticidas (en especial aquellos con efectos dañinos sobre peces y plancton), y el nivel de azolvamiento, ya que el suelo arrastrado reduce la entrada de luz al agua y la capacidad de almacenamiento de líquido, en ocasiones de forma impresionante. Estos tres temas componen el eje de este trabajo de investigación, en el que participaron con gran compromiso y profesionalismo 23 investigadores y colaboradores.

Un factor que también nos pareció imprescindible incluir fue la caracterización de los actores sociales ligados a la producción agrícola, así como las posturas del conjunto de instituciones y grupos que tienen relación con los temas de investigación. Esto partiendo de la premisa de que tras identificar un problema es necesario resolverlo, y que para ello debe involucrarse a aquellos relacionados con el mismo. No hacerlo implica marginar a quienes tienen, en buena medida, información clave para definir y aplicar soluciones y quienes, además, serán los directamente afectados por las decisiones que se apliquen.

Los resultados de poco más de dos años de trabajo (en campo, en laboratorio y en oficina) permiten alcanzar conclusiones preocupantes: la entrada de fósforo al lago proveniente de fertilizantes es muy elevada, lo mismo que el volumen de pesticidas, muchos de ellos con efectos dañinos comprobados sobre la biodiversidad acuática (base del ecosistema) e incluso sobre la salud humana. Asimismo la pérdida de suelo, que es luego arrastrado a arroyos y al propio lago, es alta y representa un doble problema: al perderse el suelo disminuye la capacidad de producción agrícola y, cuando la erosión ocurre en laderas, la capacidad de mantener los

bosques de la región. Esta tierra arrastrada se vuelve luego un problema al depositarse en el fondo de los cuerpos de agua, con efectos económicos y ambientales diversos.

Sin embargo, pareciera que no ocurre nada. El azolve y los contaminantes de fuentes difusas han estado entrando al Lago Chapala por décadas y éste sigue en relativamente buen estado. ¿Hay entonces motivo para preocuparse? ¿Es necesario hacer algo? La respuesta es simple: sí. El lago es enorme y esto le ha permitido lidiar hasta cierto punto con los contaminantes y el azolve, pero tiene un punto de saturación. Creer lo contrario sería como pensar que darle un poco de tóxico a un elefante no lo afectará por ser muy grande, pero si esto se hace en forma constante llegará el punto en que enferme y, si no es tratado en forma correcta, incluso muera.

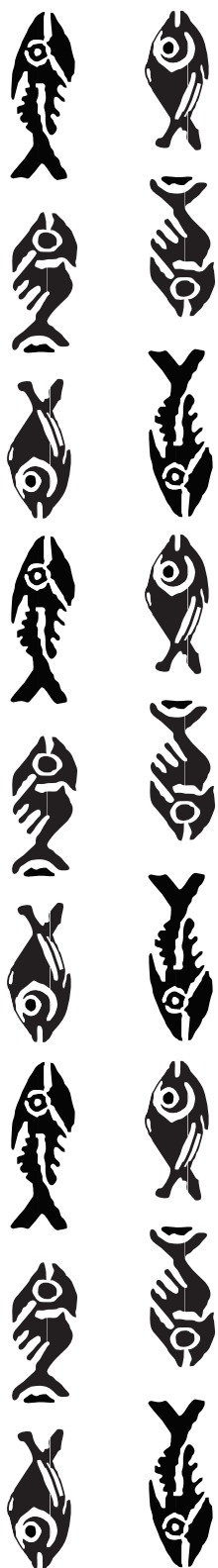
Este libro presenta en forma detallada la forma en que se realizaron las diferentes etapas de la investigación, incluyendo las metodologías específicas, los antecedentes de cada tema, la información recabada y las conclusiones alcanzadas a partir de la misma. Incluye también un capítulo de Conclusiones y Recomendaciones, en el que se analiza la información en su conjunto y se plantean acciones a desarrollar para atender la problemática reportada. El apartado de mapas es fundamental para traducir la información (que es compleja en algunos aspectos) en imágenes de sencilla interpretación, que guíe y facilite la toma de decisiones sobre el Lago Chapala y su cuenca directa. La publicación aspira a servir tanto a tomadores de decisiones como a grupos de interesados, al sector académico y a los medios de comunicación, a profesores y grupos de la sociedad civil. Espera ser útil para que el Lago Chapala pase de ser un desconocido entrañable (al que todo mundo quiere pero del que conoce muy poco) a un lago bien entendido y manejado, en especial en su interrelación con la cuenca de la que forma parte.

El proyecto en su conjunto se diseñó bajo el enfoque del Manejo Integral de Cuencas y Cuerpos de Agua (MICCA) o Integrated Lake Basin Management (ILBM), una plataforma conceptual desarrollada y puesta en práctica por un conjunto de científicos y gestores de lagos y cuencas pertenecientes a 17 países de Asia, África, Europa y América, y que actualmente es utilizado como política nacional en Nepal y Malasia, además de ser un instrumento impulsado por el Global Environment Facility, la institución financiadora de mayor peso a nivel internacional en temas ambientales.

Uno de los planteamientos base del MICCA-ILBM es que mejorar las condiciones de un lago y su cuenca es básicamente un asunto de gobernanza, la cual se integra de seis componentes: Información, Participación, Instituciones, Políticas de manejo, Tecnología y Financiamiento. En esta

lógica, es necesario contar con información confiable y precisa sobre la situación del lago y su cuenca para definir cursos de acción que permitan la participación del público, de grupos vinculados y de las instituciones públicas (de los tres órdenes de gobierno) y privadas, que con base en las características de la problemática y causas de la misma puedan definir políticas de manejo e instrumentos tecnológicos para atender tanto los efectos como las causas, y así generar los mecanismos de financiamiento internos y externos que sean necesarios.

Esperamos que la información de este libro acreciente el interés de otras instancias e investigadores en generar más información sobre el lago más extenso de México y la cuenca de la que depende, para su monitoreo y manejo integral.





CAPÍTULO 1.-

CARACTERÍSTICAS DE LA SUBCUENCA CHAPALA

Alejandro Juárez Aguilar

Corazón de la Tierra - Instituto de Desarrollo Ambiental

(33) 8995.1200 y (33) 3825.1361

corazondelatierra@gmail.com

Ramón Castañeda 979, Col. Miraflores, C.P. 44270

Guadalajara, Jalisco, México.

Características de la subcuenca Chapala

La subcuenca Chapala (también llamada Cuenca Directa de Chapala) cuenta con una superficie total de 3,312.63 km²; abarca territorio de 14 municipios en Jalisco y 12 en Michoacán. En conjunto con otras 18 subcuencas, conforma la cuenca Lerma-Chapala (Figura 1), cuya superficie es de 53,591.3 km² (un territorio mayor al de Costa Rica y más del doble del de Israel). Dicha cuenca tiene su principal cuerpo de agua en el Lago Chapala, el lago natural más grande de México y el tercero en América Latina, con una capacidad de almacenamiento de 7,897 millones de metros cúbicos y una superficie de 1,119 km². La vinculación de la subcuenca Chapala con las restantes es compleja y debe ser subrayada, ya que el lago recibe aportaciones de agua de las mismas a través de los ríos Lerma y Zula.

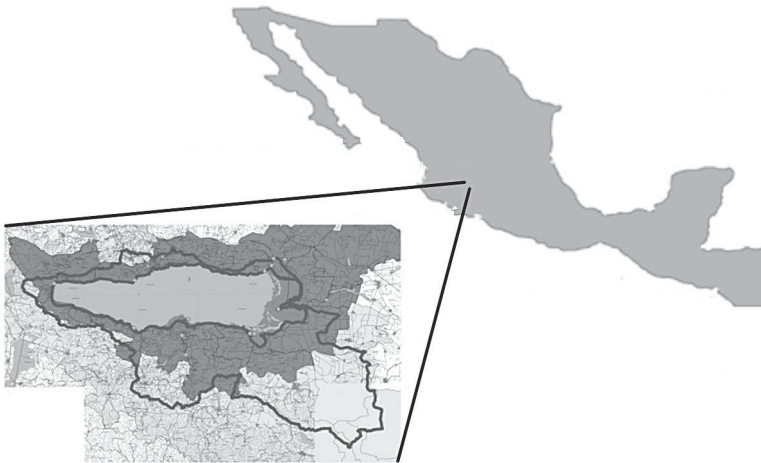


Figura 1. Ubicación de la subcuenca Chapala.

La cuenca Lerma-Chapala abarca un territorio de 206 municipios en cinco estados de la República Mexicana (Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco) y se caracteriza por su diversidad de ecosistemas, variaciones de altitud y clima, así como por una amplitud de topografías (montañas, planicies, cañadas y valles), lo que a su vez ha generado una rica biodiversidad y un conjunto de servicios ambientales tanto de soporte como de provisión, regulación y culturales. Por otra parte, en este territorio se ha generado un intenso proceso de apropiamiento de los recursos ecosistémicos, al realizarse un cambio de uso forestal por agrícola y pecuario, a través del establecimiento de zonas de producción agrícola, principalmente de riego (destacando El Bajío en Guanajuato y la región Ciénega, compartida entre Michoacán y Jalisco). Asimismo, en la cuenca se concentra el 12% de la industria del país. Quince millones de personas habitan dentro de la misma, además de 10 millones más ubicadas fuera de la cuenca (Ciudad de México y la Zona Metropolitana de Guadalajara)

pero que utilizan el agua captada en ella La forma en que se ha generado el proceso de desarrollo en este territorio ha tenido como consecuencia el deterioro de los ecosistemas, la pérdida de servicios ambientales y el incremento de la vulnerabilidad de la cuenca (Cotler, et al., 2006).

La subcuenca Chapala es fiel reflejo de lo que ocurre en el conjunto de la cuenca: cuenta con tres tipos dominantes de cobertura forestal, su gradiente altitudinal va de los 2,790 msnm (Cerro de García) a los 1,524 msnm (borde del lago); es considerado un espacio de alta biodiversidad, pero al mismo tiempo la mitad de su superficie es utilizada con fines agrícolas y existe una acelerada pérdida de cobertura vegetal para ser sustituida por agricultura y pastizales inducidos. La subcuenca Chapala incluye en su totalidad al Lago de Chapala, el cual cuenta con declaratoria como Humedal de Importancia Internacional por la Convención Ramsar, otorgado en 2009. En el Capítulo de Mapas se incluye el mapa base de la subcuenca Chapala.

Ubicación

La subcuenca se localiza entre las coordenadas extremas Norte: 20° 25' 54.1", Sur: 19° 47' 14.3", Este: 102° 25' 22.8" y Oeste: 103° 27' 58.9". Las coordenadas UTM se muestran en la Tabla 1.

UTM Norte	2,260,000
UTM Sur	2,190,000
UTM Este	770,000
UTM Oeste	660,000

Tabla 1. Coordenadas UTM de la subcuenca Chapala.

La superficie total de la subcuenca es de 3,312.63 km², de los cuales 1,119 km² corresponden al Lago Chapala. De la superficie terrestre, 1,139.9 km² (52.1%) corresponden a territorio de Michoacán y 1,047.8 km² (47.9%) al de Jalisco. De los municipios que integran la subcuenca, 12 se localizan en Michoacán y 15 en Jalisco (Tabla 2).

JALISCO	MICHOACÁN
Chapala*	Briseñas*
Concepción de Buenos Aires	Cojumatlán de Regules*
Jamay*	Cotija
Jocotepec*	Chavinda
La Barca*	Jiquilpan
La Manzanilla de la Paz	Marcos Castellanos
Mazamitla	Pajacuarán
Ocotlán*	Sahuayo
Poncitlán*	Tangamandapio
Teocuitatlán de Corona	Tingüindín
Tizapan El Alto*	Venustiano Carranza*
Tuxcueca*	Villamar
Quitupan	
Valle de Juárez	
Zacoalco de Torres	

Tabla 2. Municipios ubicados en la subcuenca Chapala. (El * indica municipios ribereños)

Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (1973), existen dos climas dominantes en la subcuenca. El primero, que abarca la casi totalidad del Lago Chapala y zonas circundantes, es el (A) C (wo) (w) semicálido subhúmedo, con lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 19.9°C. La temperatura máxima se presenta entre los meses de mayo a julio (27-30°C) y la mínima de diciembre a febrero (9-12°C). La frecuencia anual de granizadas es menor a dos días y el número de heladas, menor a 20 días al año. La precipitación promedio anual es de 875.2 mm; el mes más seco es marzo. La dirección dominante de los vientos es de este a oeste, en segundo lugar de oeste a este y, con menor frecuencia, de sur a norte y de norte a sur. La velocidad varía de 1 a 12 km/h, siendo más frecuente entre 8 y 12; ocasionalmente se presentan vientos entre 15 y 20 km/h (Estrada, Flores y Michel 1983; Limón et al 1985).

El otro tipo presente es el C(s)(wO), denominado templado húmedo con verano fresco largo y lluvias en verano. Tiene la particularidad de que los sistemas invernales o frentes fríos son intensos durante el invierno, mientras los sistemas tropicales del Pacífico lo son durante el verano, lo que provoca la mayor precipitación pluvial que se registra en el área. La mayor parte de la lluvia se concentra en el período junio-septiembre.

En la Figura 3 se muestra el gráfico de temperatura y en la Figura 4, la precipitación pluvial para la zona de estudio, resultantes de promediar los datos de las estaciones meteorológicas de Chapala, Jocotepec, La Barca y Tizapán El Alto en el período 1934-2010, utilizando bases de datos de CONAGUA (2011).

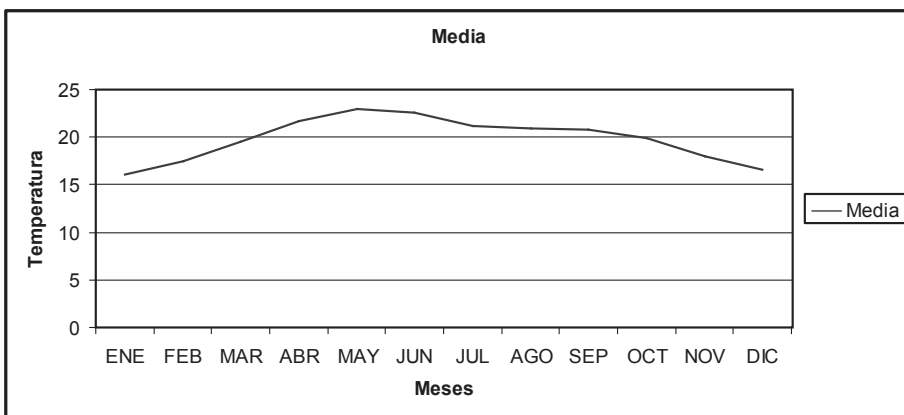


Fig. 3. Temperatura media en la subcuenca Chapala, (promedio para el período 1934-2010).

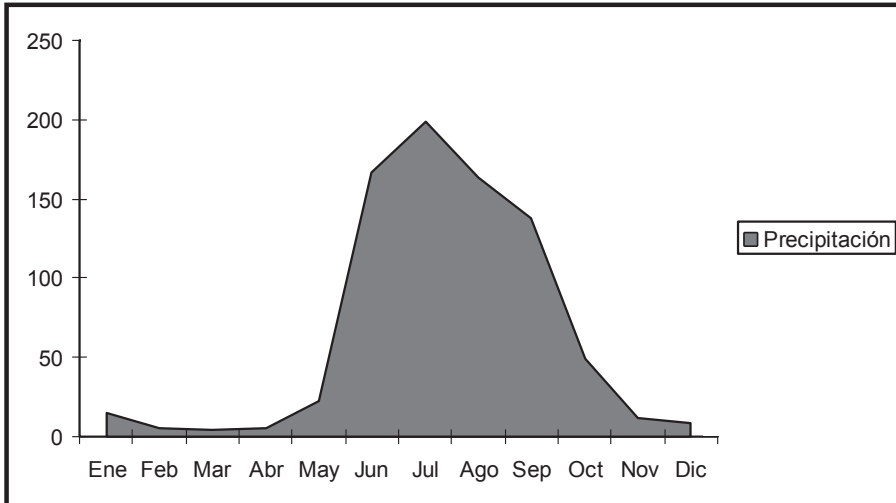


Fig. 4. Promedio de precipitación pluvial en la subcuenca Chapala (milímetros) para el período 1934-2010.

Geología y geomorfología

La subcuenca Chapala se localiza en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, específicamente dentro de la subprovincia Chapala. El Eje Neovolcánico es un cinturón montañoso que cruza el centro del país de este a oeste y al que se encuentran asociados la mayor parte de los lagos naturales y volcanes de México (Guzmán, 1989). Los sistemas geomorfológicos encontrados son:

- Planicies. Caracterizada por suelos de origen fluvial, cuya litología es de aluvión, de pendientes suaves, menores a 3%. Se encuentra principalmente en la ciénega de Chapala, Jamay, Briseñas, Venustiano Carranza, Sahuayo y Jiquilpan. Superficies más pequeñas se localizan en Chapala, Jocotepec y Tizapán.
- Piedemonte. Suelos de origen volcánico, con litología extrusiva básica y ácida, y pendientes que oscilan entre 12 y 30%. Localizados en la vertiente sur del Lago de Chapala (municipios de Tizapán, Cojumatlán de Régules y Sahuayo, principalmente).
- Lomeríos. Suelos de origen volcánico, con litología ígnea extrusiva básica, con altitud de hasta 2,310 msnm y pendientes de 6 a 40%. Componen la mayor parte de la Sierra del Tigre (municipios de Marcos Castellanos, Manzanilla de la Paz, Mazamitla y Sahuayo), además de parte de Tangamandapio y Villamar.
- Colinas. Representada sólo por una porción de la Sierra de Jamay, en la ribera norte del Lago de Chapala. Mezcla de andosol, luvisol, planosol y litosol.
- Montañas. Elevaciones mayores a 500 metros, caracterizadas por suelos de andosol-licrosol con presencia de luvisol, litosol, regosol y feozem.

Se encuentran en Chapala y Jocotepec (Sierra de Las Vigas-El Travesaño), Tuxcueca, Jiquilpan y Villamar.

El lago como tal se localiza dentro de un graben (fosa tectónica) que se originó en un período ocurrido entre hace 6.7 y 7 millones de años (Delgado, 1992; Rosas, et al., 1997), lo que convierte a Chapala en uno de los lagos más antiguos del mundo. La depresión tectónica forma parte de una fractura llamada Línea de San Andrés-Chapala. Las principales sierras del área se formaron durante el Plioceno medio y son antiguos aparatos volcánicos, conformados principalmente por rocas ígneas extrusivas. Las islas de los Alacranes y de Mezcala, así como la ahora península de Petatán son también de origen volcánico. El vulcanismo de la región se encuentra actualmente reducido a las manifestaciones de termalismo en las riberas del lago (Estrada, Flores y Michel 1983; CNIC-DJ 1989) y a afloramientos de manantiales termales en el interior del propio humedal. Asimismo, bajo el lecho del lago se localizan pequeños yacimientos de petróleo que fueron analizados en la década de 1940, concluyéndose que no eran suficientemente importantes para justificar la inversión requerida para su extracción.

El Lago de Chapala es uno de los lagos antiguos del mundo (*ancient lake*), condición que tienen los cuerpos lacustres que tienen una vida superior a un millón de años. Esto resulta importante ya que la mayor parte de los lagos del mundo se consideran “jóvenes”, por su aparición relativamente reciente. Pocos lagos pueden funcionar en períodos geológicos largos, debido a los procesos de sedimentación que los azolvan y transforman en pantanos y posteriormente en diferentes tipos de ecosistemas terrestres. Entre los lagos antiguos del mundo se encuentran el Biwa (Japón), Baikal (Rusia) y el Titicaca (Bolivia). De acuerdo con diversos estudios (Estrada, Flores y Michel, 1983; Rosas, et al, 1997), se deduce la existencia de un lago Pre-Chapálico mucho mayor al actual, cuya extensión abarcaba otras depresiones estructuralmente relacionadas como las de Cajititlán, Villa Corona, Zacoalco, San Marcos y Sayula (Jalisco), así como la parte localizada entre el Lago Chapala y el de Cuitzeo (Michoacán), área en la cual es posible encontrar pequeños espejos de agua que quedan como remanentes de esa antigua conexión (Velarde, 2008).

Suelos

Los suelos de la subcuenca son principalmente de tipo residual y transportado, originados a partir de basaltos del terciario superior y otras rocas ígneas y aluviones (INEGI, 1988). En la subcuenca Chapala predominan los siguientes tipos de suelos:

- Vertisol en la mayor parte de la cuenca, incluyendo las zonas ribereñas del lago (excepto Poncitlán y el oeste de Tizapán) y la Ciénega de Chapala.

- Luvisol, localizado en el sur de Tizapán y de Cojumatlán.
- Feozem al noroeste de Chapala, centro y este de Poncitlán, sur de Jocotepec, noroeste de Tizapán, norte y centro de Cojumatlán, y Jiquilpan.
- Litosol en el noroeste de Chapala, norte de Jocotepec y suroeste de Venustiano Carranza.
- Andosol. Una pequeña porción en Tangamandapio.
- Cambisol. Parte alta de la Sierra del Tigre (Manzanilla de la Paz y Mazamitla).

Hidrología

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), instancia encargada de la administración hidráulica en México, clasifica a la región que incluye la zona de estudio como “Región VIII Lerma-Santiago-Pacífico”. En la práctica, la administración del sistema Lerma-Chapala se realiza en forma separada de la del sistema Río Santiago; esto se basa en criterios definidos desde los tiempos de la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH, 1973). Con un enfoque distinto, basado en el funcionamiento hidrológico, el Instituto Nacional de Ecología elaboró el “Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala” (2006), en el cual subdividió la cuenca en 19 subcuencas (Cotler, Mazari y de Anda, 2006) siendo la subcuenca Chapala la localizada en la parte más baja.

El principal cuerpo de agua lótico de la subcuenca Chapala es el Río de la Pasión (que fluye de sur a norte, teniendo su origen en la Sierra del Tigre). Asimismo, existen múltiples arroyos de temporal, principalmente localizados en municipios como Poncitlán, Chapala, Jocotepec y Tizapán. Las presas de mayor volumen (La Guaracha y Jaripo) se localizan en el municipio de Villamar (Michoacán). También existe una concentración importante de canales de riego en los municipios de Venustiano Carranza, Cojumatlán, Sahuayo y Villamar, utilizados con fines de abastecimiento para la zona agrícola localizada en la ex ciénega de Chapala. De acuerdo al INE (2006), la subcuenca se subdivide en tres sistemas hidrológicos: la Pasión (localizado alrededor del río del mismo nombre), Chapala (el lago y su zona inmediata) y Sahuayo (la mayor parte de los municipios de Michoacán). El sistema de la Pasión tiene una captación de lluvia considerada baja (a pesar de lo cual el río es permanente), mientras el sistema Chapala es clasificado de alta captación y el Sahuayo de media captación. El análisis realizado por Pladeyra et al. (2006) muestra que en la época de lluvias una parte importante del agua se infiltra (alrededor del 50%), mientras en la época seca la evapotranspiración alcanza hasta el 65%.

Además, el Lago Chapala recibe aportaciones de otros dos afluentes: el Río Zula (subcuenca Zula, con 1,836.39 km² y con territorio únicamente en Jalisco) y el Río Lerma, que recibe aportaciones de 17 subcuencas a través de diversos ríos, entre otros el San Agustín y Telalpa (Estado

de México), el Laja y Turbio (Guanajuato); así como Angulo y Duero (Michoacán).

El Lago de Chapala es permanente: tiene fluctuaciones a la alza durante el temporal de lluvias y a la baja durante la temporada seca. Aunque ha alcanzado volúmenes por encima de su capacidad de almacenamiento (en 1935 alcanzó los 9,756 Mm³ –millones de metros cúbicos- generando fuertes inundaciones), también ha sufrido fuertes descensos en su nivel en diferentes momentos (en 1955 se redujo a 954 Mm³, un 12.08% de su volumen máximo; mientras en el año 2002 bajó al 14% del mismo). En condiciones generales la profundidad media es de 7.7 metros. En las inmediaciones de Jocotepec varía entre 4 y 5 metros, en aguas profundas o liméticas registra un valor promedio de 10.9 metros, en las riberas del norte y sur fluctúa entre 3.8 y 4.7 metros, y al este (en el delta formado por la entrada del Río Lerma) fluctúa alrededor de los 2.5 metros. Estas mediciones corresponden a la cota 97.80 (1,523.80 msnm). Para medir el nivel del Lago de Chapala se usa una cota arbitraria establecida por el Ingeniero Luis P. Ballesteros en 1910, tomando un punto situado en el antiguo puente del Cuitzeo, sobre el Río Santiago, a la entrada de la población de Ocotlán. A ese punto se le asignó la cota 100.00, que equivale a 1,526.80 metros sobre el nivel del mar. En 1981, la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SARH) estableció una nueva equivalencia a la cota de Ballesteros, reduciéndola en 80 centímetros lo que corresponde a 1,526.00 msnm, por lo que la capacidad máxima del lago quedó establecida en la cota 97.80 (1,523.80 msnm), con un almacenamiento máximo de 7,897 Mm³. Este sistema es el que se utiliza hasta nuestros días.

Un rasgo destacable de la hidrología lacustre es que, a diferencia de la mayoría de los casos, en Chapala el afluente principal (Río Lerma) y el efluente del lago (el Río Santiago), están a poca distancia uno del otro, en lugar de estar en extremos opuestos del lago. De igual manera, el Río Zula no descarga sus aguas de forma directa en el lago, sino en el Río Santiago, el cual depende del funcionamiento de un dique ubicado en el Ocotlán para funcionar como aportador de líquido al lago. De acuerdo al estudio de Filonov, et al. (2005), la masa de agua está dividida en dos capas: una superficial localizada en la parte oriental del lago y otra más profunda. La diferencia reportada de temperatura entre ambas es de 2-3°C, en donde la capa superficial presenta temperaturas más elevadas. Debido a la acción del viento, la capa superficial del lago se desplaza hacia la parte central del mismo originando frentes internos entre ambas capas. En el Lago Chapala y sus alrededores existen diversas manifestaciones termales; dentro de las más grandes, cinco se encuentran en la porción sur del lago y corresponden a manantiales meso termales (temperatura que oscila entre los 25 °C y 33 °C). En la zona occidental, en el municipio de Jocotepec, se encuentran dos manifestaciones mesotermiales (en San Juan Cosalá y Ojo de Agua), en tanto que en la zona norte del lago existe también un eje de seis manifestaciones hipertermales (temperatura de entre 64° C y 85°C). En la década

de los ochenta se redescubrieron dos manantiales profundos (Guzmán 1990), con una temperatura más elevada que el resto del lago (+1.5°C).

La subcuenca Chapala y el propio lago han sufrido diversas modificaciones derivadas del uso del territorio; la de mayor importancia fue la construcción del dique de Ballesteros (finalizado en 1908), el cual desecó una extensa área al este del lago que funcionaba como ciénaga, cubriéndose a veces con agua y manteniéndose en otras ocasiones húmeda solamente. Esta construcción redujo la superficie del espejo de agua en 50,000 hectáreas, pero aumentó el volumen del mismo de tener un almacenamiento máximo de 5,800 Mm³ al actual de 7,897 Mm³. Esta acción tuvo cambios profundos en la organización social y productiva, al convertir zonas cubiertas de agua en valles agrícolas, por ejemplo, la ciudad de Sahuayo perdió su carácter de pueblo ribereño. Igualmente, esto tuvo efectos no estudiados en el funcionamiento del ecosistema acuático, al privar a algunas especies de peces de sus zonas de desove, entre otros aspectos importantes.

En cuanto al balance hídrico, de Anda y Maniak (2007) analizaron el período 1934-2003, y reportaron que debido a los cambios en el manejo del recurso hídrico del sistema, el tiempo de residencia hidráulico del lago se modificó de 3,73 ±1,88 años para el período 1934-1970 a 18,58 ±34,59 años en 1971-2003. En la Tabla 3 (tomada del mismo estudio) se observa que el volumen y profundidad media del lago han disminuido sustancialmente desde los 80, mientras que la precipitación se ha mantenido. También se aprecia la disminución en las contribuciones del Río Lerma y el importante descenso en el flujo a través del Río Santiago.

Parámetros Morfométricos	1943-69	1970-79	1980-89	1990-99	2000-03
Volumen (Mm ³)	5388,0	7320,3	4572,8	3707,6	1938,8
Área (km ²)	1070,2	1144,0	1061,8	1000,9	820,5
Profundidad (m)	4,90	6,40	4,29	3,70	2,36
Variables Hidrológicas (Mm ³ /año)	1934-69	1970-79	1980-89	1990-99	2000-03
Contribución del Río Lerma	1873,73	1873,94	409,33	475,3	963,9
Precipitación pluvial	797,8	933,8	917,7	898,4	659,7
Salidas al Río Santiago	1292,9	1680,0	335,4	116,8	28,9
Salidas del Acueducto	-	-	-	151,0	153,6
Evaporación	1455,0	1578,2	1393,8	1313,3	1122,1

Tabla 3. Principales parámetros morfométricos y variables hidrológicas del Lago de Chapala (tomado de de Anda y Maniak, 2007).

Primordialmente, el lago depende de los escurrimientos de la cuenca para su existencia, por lo que las sequías lo afectan directamente; esta situación se agrava por el exceso de uso y la elevada actividad productiva que demanda líquido y genera una alta competencia entre grupos de usuarios. Los momentos de escasez de agua más agudos se dieron en el período 1954-1955 y 2000-2002, cuando el lago se secó parcialmente, dejando al descubierto amplias porciones del mismo.

Características biológicas

Vegetación

1. *Fitoplancton*

Las especies de fitoplancton (algas microscópicas) presentan diversos niveles de tolerancia a determinados parámetros físico-químicos y constituyen la base del ecosistema acuático. El conocimiento de la composición de especies y de los factores que permiten la sucesión estacional de las poblaciones es fundamental para comprender el funcionamiento del Lago Chapala, con mayor razón si se considera que determinadas especies están asociadas a condiciones de calidad de agua, funcionando como indicadores de contaminación o limpieza del líquido.

En el estudio realizado por Mora y Castro (2005), se reporta la presencia de seis grupos de algas en el lago: cianofitas, clorofitas, euglenofitas, crisofitas y pirrófitas. Además de ser la base del ecosistema, en condiciones de alta eutrofización, algunas especies de algas (en particular de los géneros *Anabaena* y *Microcystis*, ambas presentes en Chapala) pueden tener florecimientos súbitos muy peligrosos para el resto de la vida acuática, situación comprobada de forma recurrente en lagos con altos niveles de nutrientes disueltos en el agua, como es el caso de este humedal.

Para el Lago Chapala se reportaron 226 especies, correspondientes a 92 géneros y 44 familias. La división Chlorophyta es la más rica (73), seguida de Chromophyta (69), Cyanophyta (55), Euglenophyta (26) y Dinophyta (3) (Tabla 4). Las familias de mayor riqueza son Chroococaceae (12%), Euglenaceae (12%), Naviculaceae (10%), Diatomeaceae (7%), Nostocaceae (7%) y Closteriaceae (4%).

Del total del inventario del fitoplancton, un 59% es reportado por primera vez para el lago de Chapala por Nuñez-Márquez y Reyes-González (1995) y un 26% por Mora-Navarro et. al, (2006). Los datos sugieren que Chapala es el lago de mayor riqueza fitoplanctónica en México y de mayor promedio de riqueza de especies por género, aunque los resultados son a partir de periodos de muestreo cortos y por lo tanto requieren ser determinados a mayor profundidad.

2. Vegetación acuática

Tular

Comunidad vegetal ligada a suelos permanente o temporalmente inundados; su fisonomía está dada por monocotiledóneas de 1 a 3 metros de alto y de hojas angostas que se reproducen principalmente de forma asexual. Forman masas densas que cubren amplias franjas en orillas y canales. El tular es cosmopolita en su distribución y muchos de sus géneros tienen áreas igualmente amplias, como es el caso de *Thypha*, *Scirpus* y *Cyperus*, presentes en la subcuenca. Tiene gran importancia ecológica por su papel de refugio para aves acuáticas, tanto migratorias como permanentes. Por otra parte, su abundancia obstaculiza las actividades pesqueras. En Michoacán, las especies del tular son empleadas para la elaboración de artesanías y utensilios domésticos. Cabe destacar la presencia de especies de las familias Pontederiaceae y Scrophulariaceae en las áreas cenagosas de las orillas del lago.

Vegetación flotante

Esta denominación agrupa a todas las plantas acuáticas que flotan en la superficie del agua, ya sea de forma libre o arraigadas al fondo. Una preferencia de estas plantas es por aguas con escasa o nula corriente. La especie dominante en la zona es el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), el cual se presenta a manera de manchones que se desplazan libremente, impulsados principalmente por la dirección del viento. La reproducción de esta planta es principalmente asexual; se puede propagar rápidamente en condiciones de abundancia de nutrientes y de ausencia de animales forrajeros, situación de esta zona. El lirio acuático es una de las plantas flotantes libres de mayor tamaño; su abundancia genera problemas para la navegación, la pesca y las actividades turísticas. Además del lirio se tiene registro de dos especies de la familia Lemnaceae, conocidas como “chichicastle” y “lenteja de agua”.

Flora bentónica o sumergida

Representada en forma dominante por la “tripilla” (*Potamogeton angustissimus*), que forma manchas en las orillas. Representa un recurso forrajero no aprovechado y sirve de sostén para la fijación de la huevo de muchas especies de peces.

Flora emergente

Se trata de plantas fijas al fondo, pero cuyas hojas y flores sobresalen del agua. Representadas por dos especies de la familia Nymphaeaceae que se conocen como “estrellas de agua”, crecen en zonas protegidas del viento, próximas a las orillas.

3. Bosque tropical caducifolio

Se caracteriza por especies arborescentes que pierden sus hojas en la temporada seca del año, en un lapso que en la región es de alrededor de siete meses (octubre a mayo). De forma intercalada se encuentran especies de agaváceas y cactáceas, algunas de gran talla (nopales y pitayos). El Bosque Tropical Caducifolio, también llamado por algunos autores Selva Baja Caducifolia, Bosque Tropical Deciduo o Matorral Subtropical, es característico de las laderas bajas de los cerros. Tiene marcados contrastes estacionales, pues en la época de lluvia se cubre de verdor pero en la época seca el bosque parece gris y desolado debido a la pérdida de follaje, aunque es la época de mayor florecimiento (Cházaro, et al 1994). Entre las principales especies que forman esta comunidad están el tepehuaje (*Lysiloma sp.*), pitayo (*Stenocereus sp.*), pochote (*Ceiba sp.*), cazahuate (*Ipomoea sp.*), ciruelo (*Spondias*), amate (*Ficus sp.*) y guaje (*Leucaena sp.*), además de una gran cantidad de especies herbáceas y enredaderas. Es destacable la elevada presencia de plantas con propiedades medicinales de esta asociación vegetal (Váldez, 2003), así como la importancia alimenticia de otras, como el camote de cerro (*Dioscorea remotiflora*), cuya gran demanda lo ha llevado a una drástica reducción de sus poblaciones en el área.

En condiciones naturales o de escasa perturbación, este tipo de bosque es generalmente una comunidad densa. Su altura oscila entre los 5 y 15 metros, los árboles tienden a formar un techo de altura uniforme, aunque puede haber un piso adicional de eminencias aisladas. Las copas de las especies dominantes a menudo igualan o aventajan la altura de la planta, lo que proporciona a los árboles un porte característico. El diámetro de los troncos rara vez sobrepasa los 50 cm., por lo general son retorcidos y se ramifican a poca altura desde la base. Algunas especies tienen superficies de colores llamativos y exfolian continuamente sus partes externas, como es el caso de los copales (*Bursera spp.*). En general, el follaje es de color verde claro y predominan ampliamente las hojas compuestas. La pérdida de las hojas afecta a la gran mayoría de las especies aunque la caída del follaje no es necesariamente simultánea. Los ejemplares espinosos son poco frecuentes en condiciones de escasa perturbación, cosa contraria en las áreas afectadas. Las trepadoras y epífitas son en general escasas y sólo se les encuentra en cierta abundancia en sitios protegidos como cañadas o en exposiciones favorables. Entre las segundas destacan las bromeliáceas del género *Tillandsia*, así como líquenes crustáceos que a veces cubren por completo la corteza de los troncos (Rzedowski, 1978).

Este tipo de vegetación ha sido afectado en forma intensa en la subcuenca, principalmente por desmontes agrícolas así como por actividad ganadera, tanto bovina como caprina. En las áreas más afectadas se presenta una sucesión secundaria de especies que algunos autores de-

nominan matorral subtropical; los elementos más característicos de ésta son *Ipomoea intrapilosa*, *I. murucoides*, *Bursera bipinnata*, *Heliocarpus te-rebinthaceus*, *Plumeria rubra*, *Opuntia fuliginosa*, *Hyptis albida* y *Mimosa monancistra*. El estrato arbustivo está constituido por *Bursera fagaroides*, *Eysenhardtia polystachya* y *Tecoma stans*. Los arbustos espinosos pueden ser más o menos frecuentes como los huizaches *Acacia pennatula* y *Acacia farnesiana*, y dentro de las especies enredaderas *Cardiospermum halicacabum*, *Dioscorea sp.* *Ipomoea sp.* y *Nissolia sp.*

4. Bosque de encino-pino

Es una comunidad vegetal muy característica de las zonas montañosas de México. Aparentemente no tolera deficiencias de drenaje; típicamente habitan suelos de reacción ácida moderada (ph 5.5. a 6.5) con abundante hojarasca y materia orgánica en el horizonte superficial y a menudo también a mayor profundidad. La textura del suelo puede variar de arcilla a arena al igual que la coloración que puede ser roja, amarilla, negra, café o gris. El bosque de encino-pino en la subcuenca puede tener cobertura semicerrada o abierta, esta última muchas veces ocasionada por disturbios. Las especies arbóreas que se presentan en este tipo de vegetación son *Quercus crassifolia*, *Q. elliptica*, *Q. macrophylla*, *Q. castanea*, *Pinus michoacana*, *P. oocarpa*, y algunos arbustos como *Pithecellobium sonora*, *Alnus jorollensis*, *Arctostaphylos pungens* y *Arbutus jalapensis*, entre otras.

Mientras los encinos se emplean a nivel local de forma doméstica (leña y construcción), la madera de pino suele explotarse con fines comerciales. El bosque de encino-pino se desarrolla en la subcuenca entre los 1,800 y 2,960 msnm. Se le encuentra en la Sierra del Travesaño, Sierra Las Vigas, El Madroño y laderas que miran al Lago desde la Sierra de Mazamitla, así como en las serranías de Sahuayo y los cerros Grande y La Pitahayita (Villamar y Jiquilpan). El porcentaje de presencia de pinos y encinos es muy variable; los pinos pueden ser muy escasos o tener una presencia casi equivalente a los encinos.

Bosque de encino

Los encinares de la subcuenca son escasos y se limitan a ciertas partes altas de las serranías. Aunque es una comunidad vegetal característica de las zonas montañosas de México, también penetra en regiones de clima caliente, húmedas e incluso semiáridas, asumiendo en estas últimas la forma de matorrales. Sus hojas en general son duras, coriáceas, gruesas y lustrosas. Tienen un período de defoliación pequeño durante la estación seca (Cházaro, M., et al, 1995). Cabe señalar que las comunidades de bosque de encino son de las más diversas existentes del occidente de México.

Los encinares tienden a ser muy explotados a nivel local, pero muy poco en escala industrial, situación derivada de su escasa altura y troncos

más bien delgados. Los encinos suelen ser de crecimiento lento; los que alcanzan mayor tamaño tampoco se utilizan mucho, entre otras razones por la inaccesibilidad de su localización, porque no se conocen bien sus propiedades o debido a que se ignoran las técnicas de su debido secado. Localmente la madera se emplea para vigas, muebles, postes; pero principalmente como combustible, ya sea de forma directa o transformada en carbón.

Fauna

1. Zooplancton

De acuerdo a muestreos reportados por Juárez y Llamas (2005), el zooplancton en el Lago Chapala está en su mayoría dominado por copépodos y cladóceros, en coincidencia con los elencos para lagos de su mismo tipo. Los copépodos (Copepoda) son un orden de crustáceos que ha tenido gran éxito evolutivo. Probablemente sea el grupo animal más abundante en términos de individuos en el planeta. En el caso de Chapala, los dos géneros identificados (en especial el Harpacticoides) constituyeron el grupo dominante del referido estudio.

Los cladóceros (Cladocera) son crustáceos diminutos muy semejantes a los rotíferos por su tamaño pequeño, rápido desarrollo y ciclos reproductivos. Son un orden muy ligado a aguas dulces, poco representados en aguas saladas. El género identificado para el lago de Chapala es el *Daphnia*. Las *Daphnia* más frecuentes miden entre 1 y 2 mm, con un peso aproximado de 50 a 400 μg , aunque algunas llegan a medir 5mm. Se distinguen dos subgéneros: *Ctenodaphnia* (o dafnias-M por *D. magna*) y *Daphnia* en sentido restringido a dafnias-P (por *Daphnia pulex*).

Los bosmínidos son cladóceros pequeños, de 0.25 a 1.5 mm, de forma característica y esencialmente planctónicos. Se observó su presencia constante, aunque en menor abundancia que los copépodos.

2. Peces

La cuenca Lerma-Chapala es distintiva por su endemismo, ya que 32 de las 42 especies que la habitan son exclusivas de la misma (Soto Galera et al., 1998). El Lago de Chapala representa uno de los más importantes centros de origen, evolución y biogeografía de la fauna íctica en México. La familia endémica de los goodeidos (pintillas y tiros), tiene ahí su área de mayor diversidad con diez especies, lo mismo ocurre con los charales y pescados blancos que incluyen ocho especies. Además, el lago cuenta con bagres endémicos, diferentes carpas nativas, así como registros históricos de lampreas, también llamadas ánguila. Aunque no se ha definido formal-

mente su extinción, no se han capturado ejemplares de esta especie en más de 20 años. Además de las especies nativas existen cuatro introducidas, incluyendo la tilapia, que ha prosperado debido a sus hábitos omnívoros y amplia adaptabilidad.

Las especies del lago han sido una importante fuente de recursos durante siglos, la cual ha decrecido drásticamente de 1980 a la fecha por las fluctuaciones de volumen, las actividades pesqueras desorganizadas y la contaminación del agua, reportándose reducciones continuas en la talla de los ejemplares capturados (Lyons et al., 2000). Entre los peces usados como alimento, los más identificables para visitantes y pobladores son los pescados blancos (cada vez más raros), y los charales de pequeño tamaño (8 a 12 centímetros). A pesar de su importancia y su carácter endémico, se destaca el poco interés de agencias de gobierno, organizaciones de pescadores y público en general en su conocimiento, conservación y uso sustentable.

Otra especie que tuvo gran valor pesquero fue la popocha (*Algansea popoche*), cuyas poblaciones han decrecido enormemente por la alteración derivada de la construcción en 1908 del dique en la desembocadura del Río Lerma, que afectó la ciénega del lago y redujo la abundancia de plantas acuáticas, hábitat reproductivo de esta especie que aunado a la posterior contaminación del líquido y sobreexplotación, explica su estatus de amenazada (Díaz y Pineda, 2006). De las 28 especies de peces nativos reportados en la década de 1960, en la actualidad sólo se encuentran 18 (Moncayo y Buelna, 2001). De continuar la misma tendencia se calcula que todas las especies nativas podrían desaparecer en el año 2020. Entre 1960 y 1980 se perdió el 7% de las especies; de 1980 a 2000, un 40%. Esto refleja el acelerado deterioro y el pobre manejo del humedal (Moncayo y Escalera, *op cit*).

3. Anfibios y reptiles

En particular, de la subcuenca Chapala se cuenta con pocos estudios, entre los cuales por parte de los anfibios se reportan varias ranas (*Rana montezumae*, *R. forreri*, *R. megapoda* y *R. neovolcanica*) así como el sapo *Bufo marinus* y el *Ambystoma flavipiperatum* o ajolote de Chapala. (Arriaga, et al., 2000; Machuca, 2002; SUMA, 2006).

En cuanto a reptiles, los reportes específicos para el área también son escasos pero se contabilizan 16 especies entre iguanas (*Ctenosaura pectinata*), culebras (*Masticophis sp.*, *Lampropeltis sp.*, *Pituophis deppei*), lagartijas (*Sceloporus sp.*, *Aspidoscelis communis*), tortugas (*Rhinoclemmys rubida* y *Kinosterton sp.*), víbora de cascabel (*Crotalus basiliscus*) y coralillo (*Micrurus fulvius*), entre otras. Las fuentes consultadas fueron Juárez et al. (2003), Machuca (2002), Peterson, Smith y Chiszar (1995). De las especies reportadas, seis son endémicas de México y siete cuentan con la categoría de “Protección Especial”.

4. Aves

El Lago Chapala provee refugio y alimentación a una gran diversidad de especies migratorias y residentes, de importancia tanto económica como ecológica y social. Sin embargo, un importante número de especies se localiza también en los ecosistemas forestales de la subcuenca.

En la subcuenca se tiene presencia de aves durante todo el año; su número y diversidad aumenta significativamente durante el período otoño-invierno (noviembre a marzo). En promedio se mantiene una población aproximada de más de 20,000 aves, (Orozco y García, 2005) cuyo número aumenta en la temporada invernal hasta llegar a aproximadamente 50,000 (SEMARNAP, 1995). Se cuenta con reportes de 350 especies para la zona, 100 por inventarios (Barba, et al., 2005; SUMA, 2006) y 250 más por reportes de grupos de observadores de aves, colectados semanalmente de 2005 a 2010 (Audubonistas de Chapala, 2010).

El lago representa un espacio esencial para mantener las poblaciones de aves migratorias que se mueven entre México-Canadá-Estados Unidos. Destaca la presencia del pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*); seis de las diez especies de aves acuáticas migratorias de interés para el Acta de Conservación de Humedales de Norteamérica-NAWCA: pato altiplano *Anas platyrhynchos*, pato golondrino *A. acuta*, pato cucharón, *A. clypeata*, pato de collar *A. platyrhynchos*, pato pinto *A. strepera*, cerceta aliazul *A. discors*, y cerceta canela *A. cyanoptera*); así como 20 especies de aves playeras (migratorias), 8 de ellas consideradas de alta prioridad por la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras: chorlito nevado *Charadrius alexandrinus*, chorlito de collar *C. collaris*, *Himantopus mexicanus*, zarapito picolargo *Numenius americanus*, picopando canelo *Limosa fedoa*, costure-ro pico largo *Limnodromus scolopaceus*, entre otras.

5. Mamíferos

Ceballos et al., (2006) reporta para la cuenca Lerma-Chapala 138 especies de 76 géneros, 23 familias y 8 órdenes, lo que equivale al 30% de los mamíferos terrestres del país. De las especies mencionadas, 16 son endémicas de México. Para la subcuenca se reportan 15 familias y 24 especies, incluyendo tanto especies pequeñas (roedores y conejos), medianas (cacomixtle, armadillo, mapache) y grandes (venado, puma). Los hábitos alimenticios son sumamente amplios: desde herbívoros, frugívoros, hematófagos (murciélago vampiro), carnívoros, insectívoros y omnívoros. Se trata, en general, de animales muy adaptables. Esto se define así debido a las cambiantes condiciones en cuanto a disponibilidad de alimento (por el largo temporal de secas y la pérdida de follaje de los árboles durante la misma), y con referencia a la perturbación humana, notándose que algunas especies como los zorrillos y tlacuaches pueden incluso prosperar en

zonas de cultivo (comunicación personal de agricultores del área; Juárez, 1995). De los mamíferos reportados, el mapache (*Procyon lotor*) es el más asociado al humedal, adaptándose con relativa facilidad a las condiciones de vegetación de las orillas, así como el tlacuache (*Didelphis virginiana*).

Si se toma en cuenta el listado de especies raras, en peligro de extinción o sujetas a protección especial, el murciélago *Leptonycteris nivalis* y el jaguarundi (*Herpailurus yagouarundi*) se ubican en la categoría de especies amenazadas, siendo el primero especie endémica.

En términos de biodiversidad, la cuenca Lerma-Chapala y secciones específicas de la subcuenca Chapala son consideradas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) como “de la prioridad más alta para su conservación” (Arriaga, et. al, 2000).

Problemática y manejo de la subcuenca

La subcuenca y el propio Lago Chapala han sufrido diversas modificaciones derivadas del uso del territorio; una de las más importantes fue la construcción del Canal de Ballesteros (finalizado en 1908), misma que desecó 50,000 hectáreas al este del lago, las cuales funcionaban como ciénaga, convertidas después en tierras agrícolas y actualmente aún en uso. La obra redujo la superficie del espejo de agua, pero aumentó su volumen: de tener un almacenamiento máximo de 5,800 km³ al actual de 7,897 km³.

El lago depende de la aportación de agua, no sólo de su cuenca directa sino también del flujo aportado por el Río Lerma y el Río Zula. Derivado de la construcción de numerosas presas en las partes medias y altas de la cuenca Lerma-Chapala, el flujo natural de los afluentes se ha reducido por el interés de destinar el agua a distintos usos (público-urbano, agrícola e industrial, principalmente), lo que llevó a la creación del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala (órgano derivado de la Comisión Nacional del Agua) en busca de acuerdos que permitieran reducir las condiciones de conflicto por el uso de líquido.

Debido a lo amplio del territorio de la cuenca Lerma-Chapala (53,571 km²), su manejo efectivo resulta sumamente complicado, razón por lo cual la Ley de Aguas Nacionales contempla la creación de otros organismos auxiliares para atender superficies territoriales menores: las Comisiones de Cuenca. En el caso de la Cuenca Directa del Lago Chapala esto es inexistente, ya que la que se constituyó con dicho fin fue desactivada en el año 2003. El balance de agua superficial en la cuenca Lerma-Chapala, en condiciones medias, indica un déficit de 677 km³, el cual se subsana a través de la sobreexplotación de acuíferos subterráneos, condición que amenaza con detonar una fuerte crisis en el mediano plazo derivado del agotamiento de los mismos.

Las actividades agrícolas son un componente importante en la subcuenca Chapala, ocupando el 45% de la superficie terrestre. Los cultivos se realizan tanto en áreas con irrigación (localizados en las zonas de

valles, con fuerte utilización de agroquímicos y maquinaria), como en las que carecen de ella (cultivos de temporal). De estas últimas, una parte se realiza en las zonas de ladera, en condiciones de fragilidad y escaso rendimiento. Este tipo de cultivo se denomina localmente *ecuario*, realizándose mediante actividad manual o con tracción animal para cultivar maíz, mezclado en ocasiones con frijol, principalmente para autoconsumo. Los cultivos de temporal se realizan desmontando zonas forestales, lo que normalmente deja el suelo al desnudo y favorece su arrastre tanto por el viento como por la lluvia, por lo que estas parcelas son fértiles por cortos períodos de tiempo y pierden después su capacidad productiva, lo que favorece su abandono para continuar con mayores aclareos.

La ganadería es tanto de tipo intensivo como extensivo; en este último caso se utilizan las áreas de pastizal inducido (con frecuencia ocupadas anteriormente por zonas forestales), zonas bajas de la sierra con vegetación nativa y en ocasiones los propios campos de cultivo. La actividad extensiva es con frecuencia complementada dando a los animales (vacas y cabras) rastrojo de maíz y forrajes comerciales.

De acuerdo al Programa de Conservación y Manejo del Lago de Chapala (2010), la contaminación es uno de los problemas más graves de este cuerpo de agua, la cual afecta tanto a ecosistemas acuáticos como terrestres; se mueve a partir de las fuentes de generación (de tipo puntual y difusa) mediante el efecto de arrastre de la lluvia para llegar a arroyos, ríos y al propio lago. El cuerpo lacustre es el depositario principal de una amplia variedad de contaminantes de origen agrícola, forestal, pecuario y doméstico, los cuales generan efectos directos e indirectos en las actividades productivas ligadas al mismo: cultivos de riego, pesquerías y actividades turísticas. Una parte de los contaminantes que entran al lago permanecen disueltos en el agua, el resto se acumula en los sedimentos; situación que se ha producido a lo largo de décadas.

Los cuerpos lacustres tienen períodos largos de retención, lo que significa que pueden pasar años desde que una fuente de perturbación comienza a afectarlos hasta que sus efectos se hacen visibles. En el caso de Chapala se corre el riesgo de una situación denominada “cruce de umbral ecológico” (*ecological threshold crossing*), en la que se alcance el punto en que el sistema reciba demasiadas perturbaciones y se produzcan efectos que alteren de forma rápida y profunda la estructura del ecosistema (Groffman et al., 2006), creándose dentro del lago riesgos críticos para las actividades productivas y de salud humana (ILEC, 2005). Dado el largo período de retención característico de los lagos, una vez que los problemas se manifiestan el tiempo de recuperación resulta lento y los costos de restauración elevados, sin poder recuperarse todas las características que tenía el ecosistema antes de la alteración. Por dicha causa es importante contar con análisis tendenciales y modelajes que permitan predecir los posibles escenarios para realizar acciones de manejo efectivas para beneficio del ecosistema, los procesos productivos y la salud humana.

Las actividades pesqueras en el lago se concentran en el área Chapala-Jocotepec y en Mezcala (Jalisco), así como en Cojumatlán (Michoacán). La actividad pesquera en el lapso 1990-2001 generó el 30% de la captura total para el estado de Jalisco (SEMARNAP, 2000; SAGARPA, 2001). Sin embargo, se ha generado una reducción paulatina del volumen de pesca, al punto que actualmente existe una reducción del orden del 50-60% (SEDER, com. pers.), lo que representa una pérdida anual de entre 7.8 y 12.5 millones de pesos, considerando la venta del producto sin procesar. De acuerdo al comportamiento de la fauna acuática, las poblaciones tienden a localizarse en las áreas de mayor abundancia de alimento. En el caso del Lago de Chapala las principales entradas de nutrientes son la desembocadura de los ríos Lerma, de La Pasión y Zula, que favorecen la presencia de plancton que a su vez es consumido por los peces. No obstante, los caudales mencionados también arrastran una amplia diversidad de contaminantes.

Los contaminantes se ligan a la reducción de la productividad del fitoplancton por la sobresaturación de amoníaco libre, esto genera efectos sobre las poblaciones de peces (Guzmán, 2003), además de vincularse con la aparición y/o proliferación de enfermedades que debilitan el sistema inmune de los peces haciéndolos susceptibles tanto a parásitos específicos (diversas variedades especializadas en hospedarse en los peces nativos de la cuenca, Díaz Pardo y Pineda, 2006), como a nuevos parásitos transmitidos por peces exóticos. La combinación de contaminantes y otros factores concurrentes explica la declinación de las especies del lago ya que, de las 28 especies nativas reportadas en la década de 1960, en la actualidad sólo se encuentran 18 (Moncayo y Buelna, 2001). La pesca, por gran número de personas agrupadas en cooperativas o de forma individual, se realiza de forma semi-artesanal. Entre los peces capturados, los más identificables son los pescados blancos y los charales. A pesar de su importancia y su carácter endémico, se destaca el poco interés de agencias de gobierno, organizaciones de pescadores y público en general sobre su conocimiento, conservación y uso sustentable. Los volúmenes de captura mantuvieron por décadas una población constante de pescadores, localizada principalmente en el área de Chapala-Jocotepec, Mezcala y Cojumatlán. La actividad pesquera en el lago reportó un promedio de captura anual de 5,176.9 toneladas en el lapso 1990-2001. En realidad se generó una reducción paulatina del volumen hasta llegar a un brusco desplome en el lapso 2001-2002, fecha en que el lago se redujo a sólo 14.4% de su volumen. En términos generales el sector pesquero ha sido el más débil en comparación con otros sectores productivos: inmobiliario, servicios turísticos, actividades agrícolas e industria; con escaso peso en la toma de decisiones con respecto a las prioridades de desarrollo de la región. Asimismo, las organizaciones de pescadores han sido con frecuencia percibidas por sus propios miembros como de escasa utilidad, razón por la cual en la práctica han dejado de funcionar en diferentes períodos.

Una actividad de creciente peso económico, especialmente en la región circundante al lago, es el turismo, del cual dependen directa o indirectamente aproximadamente 90,000 personas, la mayoría en espacios urbanos, con el turismo rural y de naturaleza escasamente desarrollados. La actividad turística ha tenido poca planificación y ha generado fuertes presiones urbanísticas, que han afectado las zonas boscosas adyacentes. Cabe destacar el establecimiento semi-permanente de alrededor de 12,000 personas de origen canadiense y estadounidense en la ribera norte del lago, quienes adquirieron bienes inmuebles y permanecen en el área entre noviembre y marzo, siendo denominados localmente “aves de invierno”.

La principal fuente de contaminación agrícola (nitrógeno y fosfatos provenientes de fertilizantes) proviene de los valles agrícolas de Sahuayo y La Barca (ambas dentro de la subcuenca Chapala, con aproximadamente 50,000 hectáreas de superficie), así como de otras áreas de producción colindantes con el lago, tanto de tipo tradicional como de invernaderos. Los agroquímicos son lavados por el agua de lluvia y depositados en las aguas del lago, lo cual genera abundancia de lirio acuático en manchones que, de acuerdo con datos de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (2009), han llegado a cubrir cerca de 7,000 hectáreas en algunos momentos. También, a partir del año 2006, se ha reportado la ocurrencia de “explosiones de algas” (algi bloom) que se caracterizan por la abundancia repentina de algas microscópicas que tiñen el agua de verde y generan condiciones de alto riesgo para la vida acuática, al reducir de forma abrupta la disponibilidad de oxígeno en el agua. Ambas condiciones tienen efectos en las actividades turísticas, una de las principales fuentes de derrama económica de la región, que beneficia a una población estimada de 90,000 habitantes (FONATUR, 2009).

A partir de 2008 se estableció como método de control la utilización de glifosato, fuertemente criticado por el sector científico y ambientalista aunque aceptado por el sector turístico y la población en general por los rápidos efectos del mismo. El lirio genera obstáculos para la navegación deportiva, de pesca y turística; además de que la proliferación repentina de algas puede producir mortandad de peces que acaban flotando en la superficie o se acumulan en las orillas, así como fuertes olores y alteración del color del agua, condiciones que desalientan al turismo y generan un factor de riesgo para las inversiones turísticas e inmobiliarias contempladas en el mediano plazo: construcción de una marina en Chapala, creación de un área de turismo para seniors de Canadá y Estados Unidos, creación de rutas de ecoturismo, turismo cultural en la Isla de Mezcala, fortalecimiento del mercado de observación de aves migratorias, entre otras.

Un parámetro considerado en el Índice de Calidad de Agua es “sólidos suspendidos” que resulta elevado para Chapala (CEAS, 2006; Malié, 2002). La principal causa es el proceso de erosión procedente de áreas

agrícolas y forestales (Cotler 2003). Las estimaciones con respecto al volumen de sólidos depositados en las aguas del lago han variado de miles de toneladas a cientos de miles de toneladas al año. Guzmán (2003) calculó que entre 1930 y 1977 entraron 78 Km³ de azolve (1.65 Km³ por año). El azolvamiento incrementa la turbidez del agua, lo que disminuye la cantidad de luz y los efectos de fotosíntesis, con implicaciones directas en toda la cadena trófica. Además, la combinación de alta entrada de sólidos suspendidos (que se depositan en el fondo del lago) y la escasa capacidad de dichos sedimentos de salir por el único efluente (el Río Santiago, que es controlado a través del funcionamiento de diques) provoca que la batimetría del Lago Chapala se modifique de forma constante, lo que reduce paulatinamente su capacidad de almacenamiento, además de alterar las corrientes y con ello la distribución de nutrientes, lo que afecta las poblaciones de peces y al resto del ecosistema acuático.

El lago fue declarado Humedal de Importancia Internacional (Sitio Ramsar) el 2 de febrero de 2009. La conservación de este ecosistema tiene un peso destacado en términos de conservación de biodiversidad alfa, beta y gamma (especies, poblaciones y ecosistemas) no sólo en el propio cuerpo de agua sino también en los bosques que lo rodean, dado el efecto de regulación climática generado por la evaporación, lo que resulta indispensable para el mantenimiento de áreas de bosque tropical caducifolio y de pino-encino en un radio de 50 kilómetros (CEAS, 2006).

Un grupo de actores de creciente importancia es el de los gobiernos municipales, de manera destacada los localizados en la ribera del lago: Briseñas, Cojumatlán de Regules y Venustiano Carranza (Michoacán); así como La Barca, Jamay, Ocotlán, Poncitlán, Chapala, Jocotepec, Tuxcueca y Tizapán El Alto (Jalisco). Este conjunto de gobiernos municipales, además de otros, se organizan a través de la Asociación Intermunicipal para la Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala (AIPROMADES).

El sector turístico mantiene cierto nivel de conflicto con el pesquero debido a la laxa regulación sobre la forma de realizar la pesca, suscitando frecuentes quejas por parte de prestadores de servicios por la amplia presencia de redes en ciertos espacios de navegación. El peso del sector pesquero en las decisiones de desarrollo de la región se ha reducido paulatinamente, al darse a conocer en 2010 un estudio que mostraba concentraciones de mercurio en el tejido de peces del lago, lo que redujo sensiblemente el consumo de los mismos. La reacción pública en este caso se enfocó a abandonar el consumo de los productos pesqueros, en vez de en resolver el ingreso de contaminantes y en profundizar sobre el origen de los mismos.

Literatura Citada

Barba C. G., L.M. Güitrón., R.M.A. Macias y S.C. Barrera. 2005. Aves y Vegetación. En: Orozco, M.G. y V.J. García. (Compiladores). Diagnóstico Ambiental del Lago de Chapala. ISBN: 970- 27- 0835- 4, Universidad de Guadalajara, México.

Bohem S., B. 2002. Ciudadinos y campesinos en el Consejo de Cuenca Directa del lago de Chapala. En: B. Bohem S. y otros (coords.), II Encuentro de Investigadores del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago, Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades- Universidad de Guadalajara/El Colegio de Michoacán.

Castañeda, C. 2005. Reseña de González Ruvalcaba, Francisco. Geografía del Territorio del lago de Chapala. Relaciones 103, XXVI: 265-268.

Carbajal T., I. E. y N. Y. Chávez R. 2006. Estructura económica y social de la región ciénega de Chapala, Michoacán. Tesis profesional, Escuela de Economía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero ciénega de Chapala, estado de Jalisco. Gerencia de Aguas Subterráneas.

Covarrubias-Villa, F., M. G. Cruz Navarro y A. Ojeda Sampson. 2008. El paisaje prehispánico de la ciénega de Chapala. Tecsisecat1 1(4):

Chávez-Alcántar, A., M. Velázquez-Machuca, J. L. Pimentel-Equihua, J. Venegas-González, J. L. Montañez-Soto y G. Vázquez-Gálvez. 2011. Hidroquímica de las aguas superficiales de la ciénega de Chapala e índice de calidad de agua. Terra Latinoamericana, 29(1):83-94.

De Liñan, C. (2011). Vademecum de agroquímicos de México . México, D. F.: Editorial Tecnoagrícola de México, S. A. de C. V.

Escobar, B. 2006. La cuenca Lerma-Chapala, el agua de la discordia. Gestión y Política Pública, XV (2): 369-392.

FAO/OMS. 1995. Pesticide residues in food - 1994. Reunión conjunta del Cuadro de expertos de la FAO en residuos de plaguicidas en los alimentos y el medio ambiente y el Grupo de evaluación toxicológica básica de la OMS sobre residuos de plaguicidas. Roma (Italia), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Estudio FAO: producción y protección vegetal n.º 127).

Fritscher, M. 2002. Del estatismo al libre comercio: los dilemas del sector agrícola en México. Estudios Sociedade e Agricultura, 19:146-171

INE (Instituto Nacional de Ecología). 2013. Sistema de consulta de Plaguicidas. [En línea] Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/paraquat.pdf> [Último acceso: 12 de Enero de 2013].

Juárez, A., R. Velázquez, M. Váldez, O. Baez, C. Duifhuis, A. Díaz. 2006. "Programa de Conservación y Manejo del Parque La Eucalera del Paso de Hidalgo,



municipio de Briseñas de Matamoros”. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Ayuntamiento de Briseñas/Corazón de la Tierra, A.C. 117 páginas



Juhasz, M. 2002. Cambio tecnológico y agricultura sustentable en la Ciénega de Chapala. En: B. Bohem S. y otros (coords.), II Encuentro de Investigadores del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago, Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades- Universidad de Guadalajara/El Colegio de Michoacán.



Linting, M. y A. van der Kooij. 2012. Nonlinear principal components analysis with CATPCA: A tutorial. *Journal of Personality Assessment*, 94(1):12-25.



Linting, M., J. J. Meulman, P. J. F. Groenen, A. van der Kooij. 2007. Nonlinear principal components analysis: Introduction and application. *Psychological Methods*, 12(3):336-358.



Ochoa, S., J. T. Silva, J. A. Ramos y S. Lopez. 2001. La calidad química de las aguas subterráneas en la cienéga de Chapala: un obstáculo para su desarrollo. En XI Congreso Nacional de Irrigación, 29 October-3 Noviembre 2001, Guanajuato, México (Unión Geofísica Mexicana).



OMS, 2003. Aldrin and dieldrin in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/73).



Rojas Soriano, R. 1987. Guía para realizar investigaciones sociales. Plaza y Valdés Editores. México, México. 437 pp.



Sandoval-Moreno, A. y M. A. Ochoa-Ocaña. 2010. Grupos locales, acceso al agua y su problemática de contaminación en la cienéga de Chapala, Michoacán. *Economía, Sociedad y Territorio*, X(34):683-719.



SIAP, 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Resumen Nacional por Estado. [En línea] Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=347 [Último acceso: 1 Mayo 2013].

Sotelo, I. 2005. Acciones estratégicas para la recuperación de la cuenca Lerma-Chapala: Recomendaciones técnicas del INE por subcuenca. En Cotler, H., M. Mazari y J. de Ánda (eds.). Atlas de la cuenca Lerma-Chapala construyendo una visión conjunta. Instituto Nacional de Ecología, México.



CAPÍTULO 2.-

APORTE DE NUTRIENTES DE FUENTES PUNTUALES Y DIFUSAS DE LA SUBCUENCA DEL LAGO DE CHAPALA Y SU POTENCIAL PARA PROMOVER CRECIMIENTO ALGAL

Laura Dávalos-Lind, Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO) Universidad Veracruzana(1) 228 8100603 y Baylor University(2)254 7102139 laura_davalos-lind@baylor.edu. Owen T. Lind, Center for Reservoir and Aquatic Ecosystems Research (CRASR) Baylor University (2) owen_lind@baylor.edu 254 7102179. Gabriela Velarde, Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG)(3) gabriela_velarde@gmail.mx, Edgar Rojero Vázquez(3), Jessica Thompson(3), Gloria Stefanny Hernández Ortíz (3), Jennifer Sambrano (3), Karen Martínez Cano(1), Enrique Mora López(1) .

Introducción

Desde los puntos de vista social, económico y ecológico, la subcuenca del Lago de Chapala (que abarca territorio en los estados de Jalisco y Michoacán) forma parte de uno de los sistemas hídricos más importantes en México (Mestre, 1997). Los servicios ambientales que el sistema proporciona a los habitantes de la región, lo convierten en importante generador económico del país. El mantenimiento o incremento del desarrollo económico depende de que se preserven, para el futuro inmediato y lejano, las condiciones ambientales que aseguren esos servicios ambientales. Mucho se ha escrito sobre desarrollo sustentable y el mantenimiento del capital natural, en forma de teorías y de métodos; lo innegable es que los recursos naturales son finitos y consecuentemente, también el beneficio que obtenemos de ellos. El continuado desarrollo de la región y su gente depende del estado de salud de la subcuenca. A través del tiempo, los cambios del entorno ecológico han sido efectuados para obtener beneficios urbanos, industriales y agropecuarios, por lo que la demanda de estos servicios ambientales se ha incrementado paulatinamente. Las actividades urbanas, industriales y agropecuarias de la región han transformado los afluentes del lago en colectores de nutrientes y otros materiales. Estos afluentes se convierten en mezclas complejas que provocan cambios en las condiciones biológicas y físico-químicas tanto del agua corriente como del principal receptor de estas, el Lago de Chapala. Estos cambios generan no sólo trastornos ambientales y económicos sino riesgos a la salud humana, tanto de los habitantes ribereños como del resto de pobladores de la subcuenca. Desgraciadamente, no se acostumbra cuantificar los daños a la salud humana y menos correlacionar este dato con los cambios en la salud del ecosistema de la subcuenca. Las fuentes puntuales de estresores ambientales en la subcuenca de estudio se encuentran bien definidas; constituyen los vertederos industriales y de las plantas de tratamiento urbanas. Sin embargo, las fuentes difusas provienen de la mezcla de proporciones variables de desechos urbanos, procesos industriales o agrícolas y pecuarios.

En el presente trabajo se busca dar respuesta a preguntas de investigación relacionadas con la evaluación de la calidad del agua de fuentes puntuales y difusas de la subcuenca del lago de Chapala, haciendo referencia al aporte de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. Al tratarse de una cuenca de usos múltiples, con alta densidad de actividades productivas y urbanas, y al resultar difícil definir el tipo de actividades responsables de la carga de nutrientes de fuentes difusas, se utilizaron métodos para determinar químicamente la calidad del agua, combinados con la determinación del potencial de crecimiento algal o eutroficación derivado de los nutrientes aportados por los afluentes del lago.

Las preguntas a resolver en esta investigación fueron las siguientes:

- ¿Cuál el aporte de nutrientes provenientes de fuentes puntuales y difusas?
- ¿Cuál es la variación estacional que presentan estos aportes?
- ¿Cuál es el potencial del agua (para promover el crecimiento algal) de las fuentes puntuales y difusas?
- ¿Cómo varía este potencial estacionalmente?
- ¿Cuál es el nutriente limitante en estas fuentes y como varía estacionalmente?

La relevancia del estudio del aporte de nutrientes está dada por las consecuencias del aporte desmedido de estos elementos al ecosistema acuático, el cual provoca la elevada producción de algas así como cambios en la comunidad biológica. Estos desbalances caracterizados por alta productividad primaria acompañada por cambios biológicos es lo que se denomina como eutroficación y constituye uno de los problemas más comunes y graves de los lagos en el mundo. Tan sólo en los Estados Unidos de Norteamérica las pérdidas económicas por la eutroficación se calculan en 2.2 billones de dólares anuales (Dodds et al., 2009).

Antecedentes

Las cuencas son espacios geográficos que canalizan escurrimientos de agua provenientes de la lluvia, hacia las zonas más bajas del terreno, donde fluye en arroyos y ríos hasta depositarse en lagos, presas y el océano. Estos escurrimientos recorren el paisaje y a su paso recogen multitud de elementos que terminan en los cuerpos de agua y lo modifican. El paisaje de la cuenca puede incluir ecosistemas naturales, zonas urbanizadas, zonas con desarrollos agropecuarios y zonas industriales. En el paisaje ocurren interacciones físicas, químicas y biológicas que son altamente dinámicas y se les conoce como procesos funcionales de la cuenca. Estos procesos incluyen la mineralización de materia orgánica, formación de suelo, reciclado de nutrientes y metales, hidrología, química y física del suelo. Todos estos procesos son responsables de los servicios ambientales que demanda el desarrollo humano y debido a que su evaluación es compleja, cara y lenta, su monitoreo no se realiza con frecuencia. Así, estos procesos impactan el ecosistema acuático el cual también proporciona servicios ambientales vitales para el desarrollo humano.

La Cuenca Lerma-Chapala, como la gran mayoría de las cuencas en el país, se encuentra bajo gran presión antropogénica. La variedad de estresores que existen ha hecho de estos espacios geográficos verdaderos retos para su manejo y regulación. Se trata de un espacio de poco más de 52,000 km² que se ha caracterizado por la dificultad para ser manejada en forma adecuada, debido a la amplitud territorial y a la diversidad de actores, expresiones culturales, niveles de gobierno, etcétera. Como consecuencia, la cuenca ha experimentado una intensa degradación ambiental así como diversos conflictos entre sectores y usuarios (sobre todo entre el espacio rural-urbano y entre el uso agrícola contra el turístico-pesquero).

Materiales y métodos

Sitio de estudio:

Un detallado análisis geográfico, ecológico y demográfico de la subcuenca del lago de Chapala se presenta en este volumen en el Capítulo 1.

Para la realización de este estudio se establecieron 19 puntos de muestreo dentro de la cuenca y uno en la orilla sur del lago; los sitios fueron elegidos por el equipo de trabajo y se incluyeron fuentes difusas que incluyeron aportes de desechos mixtos: el Río Zula 1 y 2, el Río Santiago, Foco Tonal, La Barca; cinco plantas de tratamiento (fuentes puntuales) localizadas en Chapala, Jocotepec, Poncitlán (Mezcala), Tizapán y Tuxcueca; además de nueve fuentes difusas por escurrimientos agrícolas: Ballesteros, Cumuato, Maltaraña, Pajuacarán, La Guaracha, Ibarra, Río de la Pasión Bajo, Medio y Alto (Tabla 1).

Fuente difusa mixta: urbana - industrial		
SITIO DE COLECTA	COORDENADA N	COORDENADA W
Zula 1	20.34616	102.76456
Zula 2	20.34452	102.77457
Santiago	20.34687	102.77932
Foco Tonal	20.32126	102.78804
La Barca	20.27504	102.55961
Fuente puntual: plantas de tratamiento		
SITIO DE COLECTA	COORDENADA N	COORDENADA W
Mezcala	20.31487	102.94888
Chapala	20.2896	103.18346
Jocotepec	20.28266	103.41589
Tuxcueca	20.15922	103.18633
Tizapán	20.16384	103.03706
Fuente difusa: agrícola - pecuaria		
SITIO DE COLECTA	COORDENADA N	COORDENADA W
Ballesteros	20.22101	102.49206
Cumuato	20.26161	102.59772
Ibarra	20.23286	102.62461
Maltaraña	20.22904	102.68715
Pajuacarán	20.16723	102.68581
La Guaracha	20.16288	102.70015
Río La Pasión	20.1453	103.04626
Río la Pasión 2 El Zapote	20.09578	103.03948
Río la Pasión 3 Agua Caliente	20.02921	103.03297
Lago de Chapala:		
SITIO DE COLECTA	COORDENADA N	COORDENADA W
La Palma	20.15061	102.76276

Tabla 1. Lista de sitios muestreados

Se realizaron tres campañas de muestreo:

- Dos en 2011: mayo 11, 12 y 13 (representativa de época de estiaje) y septiembre 22, 23 y 24 (representativa de época lluviosa).
- Una en 2012: (enero 19, 20 y 21, época de estabilización).

Debido a la extensión del terreno a cubrir, cada campaña se realizó en tres días.

Determinación de la calidad del agua de los afluentes:

Para la determinación química de nutrientes presentes en el agua se utilizaron técnicas especificadas en APHA 1995. Las muestras se obtuvieron con muestreador no metálico, se colocaron en botellas de propileno y se mantuvieron en hielo, después fueron trasladadas al laboratorio de análisis para su preparación según APHA (1995) y EPA (1978), excepto la determinación de amonio que se realizó en campo para evitar fugas. Para amonio-nitrógeno se usó el método de fenol-hipoclorito (4500-NH₃-F). Para nitrato-nitrógeno se usó reducción de cadmio (4500 NO₃-E). Para nitrógeno total se empleó digestión alcalina con persulfato (4500-N-C). El fósforo reactivo soluble se determinó mediante el método de ácido ascórbico (45-P-E, F). El fósforo total mediante oxidación ácida con persulfato. Los sólidos disueltos totales de acuerdo a Lind (1985). El carbono orgánico total con un analizador Shimadzu TOC-Vosh.

En las tres campañas, las muestras se tomaron en duplicado y cada uno se dividió en dos. Un juego de cada duplicado se analizó en el laboratorio de Limnología de la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG) mediante las técnicas arriba señaladas; otro, en el laboratorio de Limnología del Center for Reservoir and Aquatic Ecology Research (CRASR) de Baylor University (Texas, Estados Unidos de América) mediante un LCHAT ASX-520 y Autosampler Quickquem 8500. Los análisis en ambos laboratorios se realizaron por duplicado, en seguimiento a los protocolos de control de calidad.

En adición a estos análisis de laboratorio, se midió in situ oxígeno disuelto, pH y temperatura mediante sondas multiparamétricas (Hydrolab y YSI 6600 v2). La hora de las determinaciones in situ se indica en la Tabla 2.

Determinación de fertilidad del agua de afluentes:

La fertilidad del agua (PCA = potencial de crecimiento algal o AGP = algal growth potential), se determinó mediante bioensayos algales utilizando la técnica estandarizada de la EPA (EPA-600/9-78-018, modificada por Dávalos et al., 1989). Igualmente, siguiendo esta técnica se determinó el nutriente limitante del crecimiento algal (NLCA). Las muestras fueron previamente filtradas (fitros con abertura de poro de 0.45 µm), y se mantu-

vieron en congelación hasta su análisis en el Laboratorio de Limnología del Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana. En todos los bioensayos se utilizó el bioindicador señalado por la técnica *Sele-nastrum capricorunutum* (en la actualidad *Pseudokirkknerela subcubitata*). El nutriente limitante se determinó en las muestras previamente filtradas y con adiciones de nutrientes: fósforo, nitrógeno, fósforo + nitrógeno. Los bioensayos para PCA Y NLCA se realizaron utilizando cuatro réplicas con sus respectivos controles. Las incubaciones se llevaron a cabo en incubadora Caron 6031 equipada especialmente para este tipo de bioensayo, a una temperatura de 24 ± 2 C e iluminación blanca fría continua. El crecimiento algal se midió diariamente como fluorescencia de la clorofila in vivo hasta llegar al máximo crecimiento (Fluorometer Turner Designs 700). El análisis de datos se realizó determinando diferencias significativas entre los sitios muestreados, períodos muestreados y adiciones de nutrientes mediante ANOVA ($p < 0.05$).

Resultados

Considerando todas las estaciones muestreadas, se registró un rango de temperatura de entre 18° C (Río de la Pasión 2, zona media, El Zapote) y 28° C (planta de tratamiento de Chapala) similar tanto en tiempo de estiaje como de lluvias. En enero, la temperatura registrada fue menor con un rango de entre 13° C (Río de la Pasión 2, zona media, El Zapote) y 25° C (planta de tratamiento de Chapala) (Tabla 2). En las tres épocas muestreadas se registró siempre la menor temperatura en Río de la Pasión 2 Medio (El Zapote), y la mayor en la planta de tratamiento de Chapala.

El oxígeno disuelto (OD mg l⁻¹) se presentó en concentraciones bajas en todas las fuentes de origen mixto urbano-industrial durante las tres temporadas, con excepción de Foco Tonal (7.6 mg l⁻¹) y el Río Santiago (4.8 mg l⁻¹) en enero. Las plantas de tratamiento presentaron rangos de concentraciones de entre 2.7 y 5.0 mg l⁻¹ en mayo, 2.5 y 5.9 mg l⁻¹ en septiembre y 1.1 y 7.5 mg l⁻¹ en enero. Consistentemente, la planta de tratamiento de Jocotepec presentó los valores más bajos registrados (por debajo de 3.0 mg l⁻¹). Las fuentes agropecuarias presentaron las concentraciones más bajas en mayo (0 y 4.7 mg l⁻¹), el rango más amplio en septiembre (0 y 10.9 mg l⁻¹) y de nuevo bajas en enero (0.7 y 6.6 mg l⁻¹) (Tabla 2).

El pH en las todas las fuentes y épocas fluctuó entre neutral a alcalino o muy alcalino, con la excepción del Río Zula 1 donde se registró en mayo con 1.2 (Tabla 2).

En el caso de la estación en la orilla del Lago de Chapala (La Palma), se registraron temperaturas entre 22.0° C y 26.6° C. El oxígeno disuelto fue similar en mayo y septiembre (5.0 y 5.5 mg l⁻¹ respectivamente) y más elevado en enero: 11.1 mg l⁻¹. El pH fue muy elevado en todas las épocas y se registró entre 9.0 y 9.3 (Tabla 2).

Los valores medidos de nutrientes (Tabla 3), indicaron altas concentraciones de nitrógeno total (1.16 – 10.90 mg N l⁻¹) en todas las fuentes difusas mixtas urbano-industriales, siendo el sitio de La Barca el que en todas las estaciones del año presentó las mayores concentraciones (8.49 - 10.90 mg N l⁻¹). Las concentraciones medidas en las plantas de tratamiento presentaron un rango mayor, entre 0.95 y 29.20 mg N l⁻¹. Las plantas de Mezcala y Tuxcueca presentaron las menores concentraciones de nitrógeno total (0.95 - 2.50 mg N l⁻¹). El rango medido en las fuentes difusas agropecuarias fue de 0.96 y 13.05 mg N l⁻¹. El sitio del Río de la Pasión 3 (alto) en Agua Caliente, presentó las mayores concentraciones en mayo y enero (12.0 y 12.2 mg N l⁻¹ respectivamente) con dilución en temporada de lluvias (2.76 mg N l⁻¹). En el caso del amonio-nitrógeno, la planta de tratamiento de Jocotepec presentó las concentraciones más altas en las tres épocas del año, 18.5 mg N l⁻¹ en estiaje, 7.56 mg N l⁻¹ en lluvias y 7.91 mg N l⁻¹ en enero. Las fuentes difusas agropecuarias presentaron las concentraciones menores, a excepción del Río de la Pasión 3 (alto) en Agua Caliente (13.10, 0.11 y 5.53 mg N l⁻¹ en estiaje, lluvias y enero respectivamente). El nitrógeno como nitrato presenta la concentración más baja en todas las fuentes, con excepción de las plantas de tratamiento de Chapala y Tizapán en temporada de estiaje con concentraciones de 5.21 y 6.45 mg N l⁻¹ respectivamente (Tabla 3). El sitio en la orilla sur del Lago de Chapala presentó su mayor concentración de nitrógeno total en enero (3.29 mg N l⁻¹) y bajas concentraciones de amonio y nitrato consistentemente (Tabla 3).

En el caso del fósforo total, las concentraciones mayores medidas se registraron en las plantas de tratamiento con un rango de entre 0.74 y 6.78 mg P l⁻¹, siendo la planta de Jocotepec la que consistentemente presenta altas concentraciones. Las menores concentraciones medidas fueron en las fuentes difusas agrícolas (0.34 y 5.52 mg P l⁻¹) donde en el Río de la Pasión 3 (alto) en Agua Caliente se presentaron altas concentraciones en mayo y enero (5.52 y 4.52 mg P l⁻¹ respectivamente). El fósforo reactivo soluble (SRP), siguió el mismo patrón con mayores concentraciones en afluentes de las plantas de tratamiento; la planta de Jocotepec es la que aporta mayores concentraciones en las tres épocas medidas (5.25, 2.57 y 1.49 mg P l⁻¹ respectivamente). El sitio en la orilla sur del Lago de Chapala presenta una concentración en la época de lluvias de casi el doble a la medida en estiaje y enero (1.82, 0.67 y 0.84 mg P l⁻¹ respectivamente) y el fósforo reactivo soluble está entre los menores medidos entre los sitios de colecta (0.35, 0.24 y 0.14 mg P l⁻¹ en mayo, septiembre y enero respectivamente) (Tabla 4).

Fuente difusa: rixia: urbana - industrial												
SITIO DE COLECTA	HORA DE COLECTA Mayo	HORA DE COLECTA Septiembre	HORA DE COLECTA Enero	TEMP Mayo	TEMP Septiembre	TEMP Enero	OD Mayo mg l ⁻¹	OD Septiembre mg l ⁻¹	OD Enero mg l ⁻¹	pH Mayo	pH Septiembre	pH Enero
Zula 1	08:10	08:09	08:30	21.8	22.8	18.9	0.0	0.0	0.7	1.2	7.4	7.4
Zula 2	08:20	08:54	09:05	21.4	22.6	18.3	0.0	0.0	1.9	7.2	7.4	7.0
Santiago	09:04	09:32	09:32	21.8	23.4	18.6	3.2	0.0	4.8	7.3	7.3	7.4
Foco Tomal	10:00	10:50	11:00	23.7	24.7	18.1	2.9	2.3	7.6	8.7	8.8	8.5
La Barca	07:13	09:07	09:00	23.8	23.2	14.8	4.0	1.1	1.3	8.6	7.3	7.7
Fuente puntual: plantas de tratamiento												
SITIO DE COLECTA	HORA DE COLECTA Mayo	HORA DE COLECTA Septiembre	HORA DE COLECTA Enero	TEMP Mayo	TEMP Septiembre	TEMP Enero	OD Mayo mg l ⁻¹	OD Septiembre mg l ⁻¹	OD Enero mg l ⁻¹	pH Mayo	pH Septiembre	pH Enero
Mezcala	11:30	02:20	12:29	23.5	24.2	19.3	4.6	5.9	7.5	9.1	9.4	9.0
Chapala	13:00	03:25	03:00	28.4	28.3	24.5	4.7	3.1	5.1	7.6	7.8	7.7
Jocotepec	07:52	08:38	08:00	27.0	26.8	25.1	2.7	2.5	1.1	7.3	7.6	7.5
Tuxteuca	09:10	09:00	09:15	25.0	25.6	23.1	2.7	4.4	5.7	8.4	7.8	7.9
Tizapán	09:58	10:01	10:25	26.3	24.9	22.8	5.0	4.1	6.0	7.6	8.0	7.8
Fuente difusa: agrícola - pecuaria												
SITIO DE COLECTA	HORA DE COLECTA Mayo	HORA DE COLECTA Septiembre	HORA DE COLECTA Enero	TEMP Mayo	TEMP Septiembre	TEMP Enero	OD Mayo mg l ⁻¹	OD Septiembre mg l ⁻¹	OD Enero mg l ⁻¹	pH Mayo	pH Septiembre	pH Enero
Ballesteros	08:45	08:45	08:45	20.8	22.7	16.7	3.9	4.1	3.0	7.0	7.4	7.4
Cumuaato	09:42	11:42	11:52	23.8	24.9	16.4	0.2	9.7	2.9	8.4	8.7	8.1
Ibarra	10:22	12:29	12:35	24.6	23.2	17.8	0.1	2.2	3.0	8.6	7.7	7.9
Maltraña	11:10	01:12	02:10	24.5	23.7	18.8	2.2	1.9	1.8	8.7	8.4	8.5
Pajacuarán	11:49	02:00	03:00	21.8	22.8	17.4	3.4	0.0	0.7	7.5	7.6	7.4
La Guarracha	12:21	02:27	03:27	22.8	26.4	17.4	3.0	10.9	2.7	7.6	8.7	8.0
Río La Pasión 1	11:10	10:49	10:59	19.5	18.7	14.9	nd	5.7	7.5	8.2	8.3	8.3
Río La Pasión 2	11:45	11:35	11:45	18.5	19.2	13.8	4.7	5.2	6.6	8.4	8.1	8.2
El Zapote				19.5	19.4	14.3	1.2	1.2	1.9	7.7	7.8	7.9
Río La Pasión 3	12:20		12:28									
Agua Caliente												
Lago de Chapala												
SITIO DE COLECTA	HORA DE COLECTA Mayo	HORA DE COLECTA Septiembre	HORA DE COLECTA Enero	TEMP Mayo	TEMP Septiembre	TEMP Enero	OD Mayo mg l ⁻¹	OD Septiembre mg l ⁻¹	OD Enero mg l ⁻¹	pH Mayo	pH Septiembre	pH Enero
La Palma	13:33	03:02	03:52	26.6	25.8	22.0	5.0	5.5	11.1	9.0	9.3	9.1

Tabla 2. Mediciones in situ realizadas en campo en afluentes del Lago de Chapala (divididos según el tipo de fuente) en mayo (estiaje) y septiembre (lluvias) 2011 y enero (intermedio) 2012. La hora de colecta se incluye para permitir comparación de datos. nd = no dato

Fuente difusa mixta: urbana - industrial				Fuente difusa mixta: urbano - industrial				Fuente difusa mixta: urbano - industrial			
CONCENTRACION DE NT mg l ⁻¹				CONCENTRACION DE N _{org} mg l ⁻¹				CONCENTRACION DE N _{org} mg l ⁻¹			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Zulia 1	8.40	5.37	3.97	Zulia 1	5.81	1.52	0.87	Zulia 1	0.07	0.57	0.05
Zulia 2	4.69	4.22	1.65	Zulia 2	3.37	1.24	0.44	Zulia 2	0.02	0.02	0.12
Santiago	4.90	3.83	1.44	Santiago	3.52	1.1	0.01	Santiago	0.06	0.27	0.06
Foco Tonal	1.16	1.17	1.22	Foco Tonal	0.01	0.11	0.03	Foco Tonal	0.05	0.01	0.05
La Barca	8.49	10.13	10.90	La Barca	2.98	3.22	2.91	La Barca	0.12	0.39	0.05
Fuente puntual: plantas de tratamiento											
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Mezcala	2.50	0.95	1.65	Mezcala	0.83	0.01	0.19	Mezcala	0.07	0.04	0.06
Chapala	8.43	10.33	15.50	Chapala	3.26	2.46	3.71	Chapala	5.21	0.01	1.04
Jocotepec	29.20	5.22	27.05	Jocotepec	18.5	7.56	7.91	Jocotepec	0.07	0.02	0.06
Tuxteuca	nn	1.28	2.21	Tuxteuca	1.95	0.61	0.61	Tuxteuca	0.06	0.02	0.10
Tizapán	13.98	2.88	8.58	Tizapán	6.99	0.48	0.45	Tizapán	6.45	1.01	2.75
Fuente difusa: agrícola - pecuaria											
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Ballesteros	1.09	13.05	3.09	Ballesteros	0.29	0.12	0.28	Ballesteros	0.03	0.33	0.62
Cumuatío	2.41	12.35	1.62	Cumuatío	0.27	3.48	0.22	Cumuatío	0.12	0.76	0.14
Ibarra	0.96	4.31	1.25	Ibarra	0.00	1.21	0.06	Ibarra	0.03	0.36	0.1
Meltraña	1.27	2.25	1.75	Meltraña	0.00	0.04	0.06	Meltraña	0.13	0.57	0.07
Pajacuarán	1.03	3.09	1.2	Pajacuarán	0.02	1.20	0.10	Pajacuarán	0.03	0.02	0.08
La Guarracha	1.07	3.76	1.21	La Guarracha	0.00	0.67	0.05	La Guarracha	0.01	0.27	0.26
Río La Pasión	1.31	1.6	4.74	Río La Pasión	0.01	0.02	0.15	Río La Pasión	0.27	0.77	1.89
Río La Pasión	2.92	1.17	1.73	Río La Pasión	0.00	0.07	0.03	Río La Pasión	1.21	0.46	0.53
2 El Zapote				2 El Zapote				2 El Zapote			
3 Agua Caliente	12	2.76	12.2	3 Agua Caliente	13.10	0.11	5.53	3 Agua Caliente	0.09	0.02	0.05
Fuente difusa: agrícola - pecuaria											
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA DE ESTIAJE Lluvía Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
La Palma	1.39	1.03	3.29	La Palma	0	0.01	0.03	La Palma	0.01	0.01	0.06

Tabla 3. Valores de nitrógeno total (NT), amonio (NH3) y nitrato (NO3) medidos en afluentes del Lago de Chapala (divididos según el tipo de fuente) en mayo y septiembre 2011 y enero 2012. n=4 nm = no muestra

Fuente difusa mixta: urbano - industrial				Fuente difusa mixta: urbano - industrial			
CONCENTRACION DE PT mg l ⁻¹				CONCENTRACION DE SRP mg l ⁻¹			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Zula 1	2.64	1.81	1.29	Zula 1	1.98	0.84	0.49
Zula 2	1.37	1.91	0.78	Zula 2	0.99	0.46	0.48
Santiago	1.68	1.07	0.70	Santiago	1.07	0.68	0.35
Foco Tonal	0.61	0.68	0.70	Foco Tonal	0.31	0.31	0.32
La Barca	3.79	1.89	2.73	La Barca	1.91	1.06	1.14
Fuente puntual: plantas de tratamiento				Fuente puntual: plantas de tratamiento			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Mezcala	0.85	1.08	0.74	Mezcala	0.37	0.24	0.31
Chapala	4.26	5.35	1.61	Chapala	2.93	0.28	0.68
Jocotepec	6.78	4.59	4.79	Jocotepec	5.25	2.57	1.49
Tuxcueca	1.42	4.87	5.79	Tuxcueca	3.24	2.01	2.40
Tizapán	2.98	4.84	3.75	Tizapán	2.25	2.63	1.55
Fuente difusa: agrícola - pecuaria				Fuente difusa: agrícola - pecuaria			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Ballesteros	0.60	0.52	0.83	Ballesteros	0.46	0.28	0.25
Cumuato	1.75	2.07	1.02	Cumuato	1.22	1.29	0.54
Ibarra	0.76	1.98	0.71	Ibarra	0.40	0.84	0.40
Maltaraña	0.74	1.06	1.00	Maltaraña	0.50	5.15	0.43
Pajacuarán	0.50	2.03	0.87	Pajacuarán	0.26	1.29	0.44
La Guaracha	0.38	1.14	0.73	La Guaracha	0.23	1.29	0.44
Río La Pasión	0.34	0.38	0.19	Río La Pasión	0.17	0.20	0.06
Río La Pasión 2 El Zapote	0.39	0.39	0.42	Río La Pasión 2 El Zapote	0.19	0.22	0.24
Río La Pasión 3 Agua Caliente	5.52	1.66	4.52	Río La Pasión 3 Agua Caliente	3.09	0.21	1.42
Lago de Chapala				Lago de Chapala			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
La Palma	0.67	1.82	0.84	La Palma	0.35	0.24	0.14

Tabla 4. Valores de los fósforo total (PT) y fósforo reactivo soluble (SRP) medidos en afluentes del Lago de Chapala en mayo y septiembre 2011 y enero 2012, divididos según el tipo de fuente. n=4

Las mediciones de carbono orgánico total (Tabla 5), son muy elevadas en todos los sitios de colecta y en todas las épocas muestreadas; las más bajas se dieron en mayo en la planta de tratamiento de Chapala y el sitio de Ballesteros (7.20 y 7.1 mg C l⁻¹ respectivamente). Las concentraciones más elevadas se registraron en La Barca, la planta de tratamiento de Jocotepec y Cumuato (38.5, 52.10 y 35.8 mg C l⁻¹ respectivamente) durante el mes de enero. El sitio en la orilla sur del Lago de Chapala presentó concentraciones altas en las tres épocas, 17.8, 41.3 y 24.3 mg C l⁻¹ respectivamente.

Los sólidos suspendidos totales en las fuentes difusas mixtas (urbano-industrial) presentaron un rango de entre 14.4 y 122.1 mg SST l⁻¹.

n=2

Fuente difusa mixta: urbana - industrial

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Zula 1	25.50	29.90	26.70
Zula 2	15.40	27.70	26.50
Santiago	14.50	27.30	12.80
Foco Tonal	24.50	25.00	21.10
La Barca	32.10	27.80	38.50

Fuente puntual: plantas de tratamiento

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Mezcala	18.90	15.10	22.90
Chapala	7.20	24.40	25.60
Jocotepec	35.30	35.20	52.10
Tuxcueca	11.50	31.40	12.70
Tizapán	11.50	11.10	9.10

Fuente difusa: agrícola - pecuaria

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMED A Enero 2011 2
Ballesteros	7.1	13.2	13.4
Cumuato	28.6	11.9	35.8
Ibarra	20.6	16.4	26.9
Maltaraña	15.8	13.7	24.6
Pajacuarán	16.6	11.9	22.8
La Guaracha	32.5	23.2	23.4
Río La Pasión	14.8	9.4	7.4
Río La Pasión 2 El Zapote	12.5	7.5	9.1
Río La Pasión 3 Agua Caliente	20	23.6	67.5

Lago de Chapala

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
La Palma	17.8	41.3	24.3

Tabla 5. Carbono orgánico total medido en afluentes del Lago de Chapala en mg l-1, durante mayo y septiembre 2011 y enero 2012 dividido por tipo de fuente.

Las concentraciones medidas para afluentes de plantas de tratamiento y agropecuarios, presentaron un rango amplio entre 7.8 y 1364.6 mg SST I-1, donde la planta de tratamiento de Jocotepec contribuye con la mayor concentración. Con respecto al sitio en la orilla sur del Lago de Chapala, las concentraciones de sólidos suspendidos totales presentaron una concentración alta en enero, mientras que en estiaje y lluvias esta fue menor (101.0, 32.8 y 37.5 mg SST I-1 respectivamente) (Tabla 6).

En relación con la fertilidad del agua, el afluente que provocó la mayor estimulación fue La Barca en época de estiaje, así como en enero (130 y 141 fluorescencia máxima) (Tabla 7). Las fuentes que provocaron la menor estimulación fueron las agrícola-pecuarias. El sitio a la orilla del sur del Lago de Chapala provocó una estimulación del crecimiento algal mínima, comparada con el resto de las fuentes de nutrientes estudiadas (4, 2 y 9) fluorescencia máxima en mayo, septiembre y enero respectivamente) (Tabla 7).

La limitación por nutrientes señaló al nitrógeno como el elemento más importante en 74% de los casos distribuidos en todas las temporadas. La colimitación por nitrógeno y fósforo (NP) ocurrió en el 19% de los casos en la temporada de lluvias. El nutriente limitante registrado en las fuentes difusas mixtas urbano-industriales, tanto en la época de estiaje como en enero, fue el nitrógeno; en temporada de lluvias se registró colimitación por ambos: nitrógeno (N) y fósforo (P). En las plantas de tratamiento se registró limitación por nitrógeno como colimitación por ambos nutrientes en las tres épocas, predominando limitación por N en estiaje y colimitación en lluvias. Es importante hacer notar que la limitación en el afluente de la planta de tratamiento de Chapala en enero fue P. Para las fuentes difusas agrícola-pecuarias, el N fue limitante en estiaje, el N y colimitación se presentaron en lluvias y en enero, y se registró en el Río de la Pasión 3 (alto) Agua Caliente limitación por P en enero. Es importante señalar que en la estación localizada en Ibarra, en época de estiaje ninguno de los dos elementos estudiados (N y P), fueron limitantes. En el caso del sitio en la orilla sur del Lago de Chapala, el N fue el limitante de la productividad algal en las tres épocas muestreadas (Tabla 8).

n = 2 nm = no muestra

Fuente difusa mixta: urbano - industrial

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Zula 1	14.4	22.5	26.8
Zula 2	18.2	22.5	20.2
Santiago	79.4	14.5	25.4
Foco Tonal	53.0	22.8	36.4
La Barca	52.0	39.3	122.1

Fuente puntual: plantas de tratamiento

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Mezcala	26.0	24.5	32.2
Chapala	11.0	16.8	11.4
Jocotepec	1364.6	37.8	80.5
Tuxcueca	1167.8	nm	42.0
Tizapán	1260.2	4.2	66.0

Fuente difusa: agrícola - pecuaria

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Ballesteros	7.8	86.3	56.4
Cumuato	20.7	142.9	55.5
Ibarra	32.3	39.3	153.0
Maltraña	20.0	42.5	147.5
Pajacuarán	10.8	10.8	40.5
La Guaracha	10.8	44.5	73.5
Río La Pasión	1186.0	20.8	114.0
Río la Pasión 2 El Zapote	1119.4	5.7	9.0
Río la Pasión 3 Agua Caliente	1253.2	40.5	105.0

Lago de Chapala

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
La Palma	32.8	37.5	101.8

Tabla 6. Sólidos disueltos totales (mg l-1) medidos en afluentes del Lago de Chapala en mayo y septiembre 2011 y enero 2012, divididos por tipo de fuente.

Fuente difusa mixta: urbano - industrial

ESTACION	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Zula 1	121	100	24
Zula 2	96	nm	16
Santiago	133	85	42
Foco Tonal	12	nm	5
La Barca	130	32	141

Fuente puntual: plantas de tratamiento

ESTACION	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Mezcala	54	3	17
Chapala	96	79	139
Jocotepec	30	99	101
Tuxcueca	48	72	34
Tizapán	100	2	60

Fuente difusa: agrícola - pecuaria

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Ballesteros	34	nm	nm
Cumuato	23	64	71
Ibarra	9	96	16
Maltraña	7	74	18
Pajacuarán	8	91	6
La Guaracha	17	2	59
Río de la Pasión	12	49	43
Río la Pasión 2 El Zapote	85	47	59
Río la Pasión 3 Agua Caliente	97	22	100

Lago de Chapala

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
La Palma	4	2	9

Tabla 7. Máxima fertilidad del agua (potencial del agua para estimular crecimiento algal) presentada por afluentes del Lago de Chapala medida en tres épocas del año (en unidades de fluorescencia). nm = no muestra n=4

Fuente difusa mixta: urbano - industrial

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Zula 1	N	NP	N
Zula 2	N	NP	N
Santiago	N	NP	N
Foco Tonal	N	nm	N
La Barca	N	NP	N

Fuente puntual: plantas de tratamiento

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Mezcala	N	N	N
Chapala	NP	N	P
Jocotepec	NP	NP	N
Tuxcueca	N	NP	N
Tizapán	N	NP	N

Fuente difusa: agrícola - pecuaria

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Ballesteros	N	nm	N
Cumuato	N	N	N
Ibarra	ninguno	NP	N
Maltraña	N	NP	N
Pajacuarán	N	NP	N
La Guaracha	N	N	N
Río de la Pasión	N	NP	NP
Río la Pasión 2 El Zapote	N	NP	NP
Río la Pasión 3 Agua Caliente	N	N	P

Lago de Chapala

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
La Palma	N	N	N

Tabla 8. Nutriente limitante del crecimiento algal identificado mediante bioensayos en 19 afluentes del lago de Chapala medido en mayo y septiembre 2011 y enero 2012.
nm = no muestra n=4

Discusión

La determinación del aporte de nutrientes de fuentes puntuales y difusas a un cuerpo de agua es importante, ya que los nutrientes cuando se presentan en exceso son responsables de la eutroficación. La eutroficación es el excesivo crecimiento algal causado por el enriquecimiento con nutrientes y es considerado uno de los problemas de calidad de agua más comunes en México y el mundo. El costo económico de este problema es muy elevado. Entre sus consecuencias están la necesidad del tratamiento adicional al agua para remover compuestos tóxicos o que dan olor y sabor al agua; la pesquería se ve disminuida tanto en calidad de peces como en cantidad y el valor estético disminuye afectando negativamente las actividades turísticas y recreativas. Como se mencionó con anterioridad, los costos económicos de la eutroficación o su tratamiento y prevención son muy altos.

Los nutrientes evaluados fueron los que han sido identificados como promotores de la eutroficación: nitrógeno y fósforo provenientes de cinco fuentes puntuales representadas por las plantas de tratamiento de Chapala, Jocotepec, Mezcala, Tizapán y Tuxcueca. Para el resto de las fuentes (15 estaciones), es difícil identificar una sola fuente de perturbación, sin embargo, como fuentes difusas de escurrimiento agrícola consideramos los sitios de Ballesteros, Cumuato, Ibarra, Maltaraña, Pajacuarán y La Guaracha, ubicados en la Ciénega de Chapala y el Río de la Pasión medio (El Zapote) y Río de la Pasión bajo. La estación en Río de la Pasión alto (Agua Caliente), representa una fuente principalmente pecuaria donde hay una importante industria de productos lácteos. Como fuentes difusas de mezclas varias se consideraron los sitios de La Barca, Río Zula 1 y 2, Río Santiago y Foco Tonal.

Los valores de nitrógeno total (NT), amonio (NH_3) y nitrato (NO_3) presentan rangos muy amplios entre los sitios y temporadas muestreados. Cabe hacer notar que las plantas de tratamiento (fuentes puntuales) contribuyen de manera importante en las temporadas de secas y en enero; en temporada de lluvias se registra dilución del afluente, excepto en la planta de Chapala donde no se observa dilución por lluvias (Tabla 3). De acuerdo a los criterios estipulados en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) de la SEMARNAT (2012), los valores medidos de nitratos en las 20 fuentes se encuentran dentro de la norma para protección de vida acuática, sin embargo, se menciona que para consumo humano a largo plazo y para evitar metahemoglobinemia en infantes, la máxima concentración es de 0.2 mg l⁻¹; tomando en cuenta este valor se encuentran fuera de la norma en la época de estiaje el 80% de los sitios: 55% en época de lluvias y 30% en enero. La mayoría de los sitios

evaluados se colocan con el 65% medido a nivel nacional (0.2 a 3 mg l⁻¹) y las plantas de tratamiento de Tizapán y Chapala (concentraciones de 5.2 a 6.4 mg l⁻¹ respectivamente), se colocan con el 2% nacional que corresponde al nivel más alto medido en aguas nacionales. En el caso de nitrógeno amoniacal en época de estiaje, 40% de las zonas muestreadas están dentro de la norma: 25% en época de lluvias, lo cual puede atribuirse a la dilución causada por el aporte de la precipitación, y en enero, 35%.

En el caso de la muestra de la orilla sur del Lago de Chapala, la comparación de los datos de este estudio con los del SNIARN (2012). Con referencia al nitrato colocan al lago con el 31% de las aguas superficiales, el conjunto con mejor calidad (0 y 0.2 mg l⁻¹).

Igualmente, los valores de fósforo total (PT) presentan un rango amplio de concentraciones, donde algunas plantas de tratamiento contribuyen con las concentraciones más elevadas de PT medidas en este estudio. Los valores de fósforo reactivo soluble (ortofosfatos), presentan también un rango amplio y las mayores contribuciones al Lago de Chapala provienen de plantas de tratamiento (Tabla 4). La comparación de los valores obtenidos en este trabajo con las estadísticas disponibles en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN, 2012) de la SEMARNAT, coloca a todas las estaciones con el 71% de los sitios monitoreados nacionalmente (PT > 0.1 mg l⁻¹), donde se menciona que este nutriente proviene de fertilizantes y detergentes aplicados en zonas agrícolas; en este estudio los valores señalan a las plantas de tratamiento, en la mayoría de los casos, como las fuentes más importantes.

De acuerdo a los criterios en SNIARN (2012), todos los valores obtenidos de fósforo soluble se encuentran dentro de la normatividad para protección de vida acuática y otros usos, excepto la estación de Maltaraña en época de lluvias. Pero, de acuerdo con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) (SNIARN, 2012), se especifica que los fosfatos no deben exceder 0.05 mg l⁻¹ en afluentes y 0.025 mg l⁻¹ en lagos y embalses. Bajo este criterio, nuestros datos indican que en todas las regiones muestreadas en todas las estaciones del año se rebasan ambos criterios, excepto en el Río de la Pasión en el mes de enero. Cabe señalar que en las estadísticas del SNIARN no se especifica si se trata de NO₃ ó NO₃-N, PO₄ ó PO₄-P.

Las fuentes puntuales (plantas de tratamiento), liberan cantidades importantes tanto de N como P y vierten directamente en el Lago de Chapala. De acuerdo a los datos de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEAJ, 2012), todas las plantas se encuentran en operación y en 2005 daban servicio entre el 10 y 46% de sus poblaciones respectivas, siendo la de Tizapán la de mayor cobertura (72%). Sin embargo, las plantas se constru-

yeron en 1989 (excepto Mezcala en 2001) y no cuentan con tratamiento terciario para remover nutrientes ni fueron proyectadas para los esperados aumentos poblacionales.

La contaminación orgánica se registró, en todas las fuentes, en cantidades elevadas. La segunda más elevada se midió en el Lago de Chapala en temporada de lluvias (41.3 mg C l⁻¹) y la más elevada en el Río de la Pasión Agua Caliente en enero (67.5 mg C l⁻¹), posiblemente por las actividades de la industria lechera de la región.

Los sitios conformados por fuentes difusas mixtas urbano-industriales en época de estiaje, presentaron el mayor potencial para promover crecimiento algal. El efecto de dilución por lluvias fue poco notable en septiembre y más notorio en enero, quizás debido a que la temporada de lluvias en 2011 no fue cuantiosa, registrándose mayores aportes de agua hasta enero. Las fuentes agrícola-pecuarias presentaron mayores fertilidades en época de lluvias debido a un mayor escurrimiento de agua, casi nulo durante el estiaje. Y las fuentes puntuales representadas por las plantas de tratamiento presentaron fertilidad variante: por ejemplo, Mezcala, Chapala y Tizapán presentan menor fertilidad en tiempo de lluvias mientras que en Jocotepec y Tuxcueca aumenta en esa temporada. Los aportes de estimulantes de la productividad de las fuentes estudiadas son considerables y consistentes con otros estudios (López-López y Dávalos-Lind, 1998), donde la biota del cuerpo de agua receptor, en este caso el lago de Chapala, parece servir como un procesador de nutrientes. La fertilidad del agua de la estación en la orilla sur del lago es muy baja en las tres épocas muestreadas, comparada con las otras 19 estaciones muestreadas.

Consistente con estudios de patrones de fertilidad del agua de cuerpos en la Mesa Central de México (Hernández et al., 2001), los sitios que presentaron la mayor fertilidad del agua fueron en su mayoría limitados por nitrógeno; igualmente los que presentaron la menor fertilidad del agua estuvieron limitados por ambos, N y P (colimitación). En ambos casos, sólo en época de estiaje.

El nutriente limitante en época de estiaje, tanto en fuentes difusas urbano-industriales como en agrícola-pecuarias, fue el nitrógeno. En la mayoría de los casos cambió a colimitación (N y P) en temporada de lluvias; esto ha sido observado en otros cuerpos de agua mexicanos (Hernández et al., 2001, Bernal-Brooks et al., 2003). La colimitación presentada en temporada de lluvias puede deberse al aporte conjunto de ambos nutrientes por los escurrimientos y a que son biodisponibles sólo en bajas concentraciones. El registro de cambios, de nutriente limitante a colimitación, es importante ya que puede indicar cambios en actividades antropogénicas (eficiencia de plantas de tratamiento, rotación o época agrícola, merca-

dos, etcétera).

En la estación localizada en la orilla sur del Lago de Chapala, el nutriente limitante en las tres épocas muestreadas fue el nitrógeno. Desde 1989, Davalos et al determinó que el fitoplancton del Lago de Chapala está limitado por nitrógeno; esto ha sido confirmado en variadas ocasiones (Hernández et al., 2001). La producción en el Lago de Chapala es baja, se le ha clasificado como oligo-mesotrófico y es resultado de dos factores: la baja concentración de nitrógeno en relación con el fósforo y la alta turbidez inorgánica del agua (Davalos et al., 1989; Lind et al., 1992).

El manejo apropiado, la preservación e incremento de los servicios ambientales que proporciona la subcuenca y el Lago de Chapala, depende del entendimiento que logremos del funcionamiento del sistema y de su interacción con los factores socioeconómicos constantemente cambiantes. La variedad de estresores que causan efectos acumulativos y sinérgicos son de difícil evaluación y requieren de un monitoreo exhaustivo que finalmente conlleve al buen manejo de la cuenca.

Los efectos acumulativos del uso de la cuenca requieren de información a largo plazo que para la mayoría de los afluentes no existe: no se cuenta con una línea base para determinar cambios en la cuenca o niveles de cambios aceptables en las condiciones de calidad de agua de los afluentes. Igualmente, se hace necesaria la información actualizada de la eficiencia de las plantas de tratamiento existentes, la proyección del crecimiento poblacional y las necesidades de tratamiento futuras.

Este trabajo aborda el panorama ambiental actual de los afluentes mediante las mediciones químicas de la calidad del agua, determina los efectos de estas mezclas mediante las respuestas del bioindicador a la calidad del agua en su totalidad y señala las fuentes importantes de estresores.

En la comparación de datos de este estudio y las normas establecidas se hace evidente que la legislación actual o su cumplimiento no ha sido suficiente para la protección de la sustentabilidad de la región.

Literatura Citada



APHA, AWWA, WEF. 1995. Standard methods for the examination of water and waste water. Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. (Eds). 19 th Edition. American public health association. Washington, D.C.



Bernal-Brooks, F., L. Dávalos-Lind and O. T. Lind. 2003. Seasonal and spatial variation in algal growth potential and growth limiting nutrients in a shallow endorheic lake: Lake Pátzcuaro (Mexico). *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 8: 83-93.



Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CE-CCA-001/89. 1989. Semarnat, CNA. DOF 1989.



Comisión Estatal del Agua de Jalisco, CEASJ. 2012. www.ceajalisco.gob.mx

Dávalos, L., O. Lind, and R.D. Doyle, 1989. Evaluation of Phytoplankton-Limiting Factors in Lake Chapala, Mexico: Turbidity and Spatial and Temporal Variations in Algal Assay Response. *Lake and Reservoir Management* 5(2): 99-104.



Dodds, W. K., W. W. Bouska, J. L. Eitzmann, T. J. Pilger, K. L. Pitts, A. J. Riley, J. T. Schloesser and D. J. Thornbrugh. Eutrophication of U. S. freshwaters: Analysis of Potencial Economic damages. *Environmental Science & Technology*. 43(1) 12-19.



Environmental Protection Agency. 1978. The *Selenastrum capricornutum* Printz algal assay bottle test. Experimental design, application, and data interpretation protocol. EPA-600/9-78-018.



Hernández-Avilés, S., F. Bernal-Brooks, G. Velarde, D. Ortíz, O. T. Lind y L. Dávalos-Lind. 2001. The Algal Growth Potential and Algae Growth-Limiting Nutrient for 30 México's Lakes and Reservoirs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27 Part 6:3583-3588.



Lind, O. T. 1985. *Handbook of common methods in Limnology*. Kendall/Hunt Publishing Company.



Lind, O., Doyle R., Vodopich D., Trotter B., Limón J. and Dávalos-Lind L. 1992. Clay turbidity: governing of Phytoplankton production in a large, nutrient-rich tropical lake (Lago de Chapala, México). *Limnol. Oceanogr.* 37:549-565.

López López y L. Dávalos-Lind. 1998. Algal growth potential and nutrient limitation in a tropical river-reservoir system of the Central Plateau, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health and Management*. 1(3-4): 354-351.

Mestre, J. E., 1997. Case Study VIII –Lerma-Chapala Basin, Mexico. In: *Water Pollution Control-A guide to the use of water quality management principles*. Eds. R. Helmer and I. Hespanhol. E.&F Spon WHO/UNEP.

Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. 2012. www.semarnat.gob.mx



CAPÍTULO 3.-

PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA SUBCUENCA CHAPALA

Salvador Ochoa Estrada (1), Alejandro Juárez Aguilar (2), René Velázquez Moreno (2), Luis Ángel Zárate Lara (2)

(1) Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Instituto Politécnico Nacional, sochoa@ipn.mx

(2) Corazón de la Tierra-Instituto de Desarrollo Ambiental (2) corazondelatierra@gmail.com; tecnicact@gmail.com

Resumen

El Lago de Chapala es el cuerpo de agua dulce más grande de México, pero también uno de los más afectados por actividades humanas. Uno de los aspectos menos estudiados sobre el lago es la relación que mantiene con la cuenca de la que forma parte, en particular con la porción que escurre directamente hacia el mismo (la subcuenca Chapala, con territorio en Jalisco y Michoacán). Un aspecto importante en términos del funcionamiento de cuenca es el referente a la erosión hídrica, el cual genera problemas tanto de pérdida de fertilidad como de azolvamiento de cuerpos de agua naturales y artificiales. El presente trabajo tuvo como objetivo cuantificar la erosión hídrica en las extensas zonas agrícolas de la subcuenca así como en los espacios boscosos localizados en la misma. El método utilizado fue el de parcelas de escurrimiento, donde se captura el sedimento arrastrado en un área determinada durante el temporal de lluvias, el cual se pesa posteriormente. La mayor pérdida de suelo encontrada fue de 6,095.38 kg/ha/año para cultivos de ladera; y la menor se presentó en el bosque tropical caducifolio con 5.8 kg/ha/año. La materia orgánica fue uno de los componentes del suelo que se perdieron durante el proceso de erosión hídrica, con porcentajes que llegaron a ser hasta del 7.17% en cultivos de temporal, con un 0.29% de nitrógeno total; así mismo, el componente textural con mayor pérdida fue el de las arcillas con contenidos hasta del 76.2%. Aún en los suelos con menor pérdida por erosión el porcentaje de materia orgánica que se perdió es elevado, hasta el 19.5% y su contenido de nitrógeno total de 0.78%. Con los resultados obtenidos se puede concluir que uno de los componentes del suelo más susceptible a perderse durante el proceso de erosión hídrica, es la materia orgánica, por consecuencia el principal nutrimento afectado es el nitrógeno.

Palabras clave: Erosión hídrica, cultivo de ladera, fertilidad.

Introducción

La erosión se define como la remoción del suelo por agentes del medio físico; en el ámbito mundial constituye uno de los problemas ambientales más severos, ya que más del 80.5% (106'440,000 km²) de la superficie del planeta presenta este fenómeno, originado tanto por causas naturales como antropogénicas (FAO, 1980).

Para el caso de México y Centroamérica, se calcula que en los últimos 45 años se han alterado casi 61 millones de hectáreas. Debido a lo anterior es posible considerar la erosión como un problema social y económico, así como un factor determinante en el deterioro de los ecosistemas terrestres (Mass, 1998). El proceso de erosión hídrica consiste en el desprendimiento, transporte y sedimentación de las partículas del suelo

por las gotas de la lluvia; aquí es donde el mecanismo inicia y, una vez que la capacidad de infiltración y de almacenamiento superficial está satisfecha, comienza el escurrimiento arrastrando las partículas sueltas y las que su fuerza misma desprende; el mecanismo concluye cuando se deposita el material erosionado y transportado (proceso de sedimentación), lo que puede provocar tanto o más efectos negativos que la erosión misma (Sturm, 2001).

Las actividades productivas que se desarrollan en la subcuenca Chapala incluyen en forma amplia la agricultura de riego, la agricultura de temporal y la ganadería extensiva; la práctica de estas dos últimas se desarrolla en terrenos donde se presentó un cambio de uso de suelo y bajo condiciones de pendientes pronunciadas, principalmente en las zonas de lomerío, lo que detona el problema de erosión en la cuenca.

En los últimos veinte años la subcuenca Chapala ha sufrido un cambio de uso de suelo extensivo, provocando la aceleración de los procesos erosivos que coadyuvan, por una parte, en la pérdida de fertilidad de sus suelos y por otra, al proceso de azolvamiento del vaso del Lago Chapala por la acumulación acelerada de sedimentos.

Antecedentes

Cotler (2003) señala tres procesos de degradación como los más importantes en la cuenca Lerma-Chapala (conformada por 19 subcuencas, siendo la subcuenca Chapala la localizada en el extremo occidental): la erosión hídrica superficial, la erosión hídrica en forma de cárcavas y la declinación de la fertilidad. Lo anterior deriva fundamentalmente de la acelerada deforestación existente en toda la cuenca: se reporta la pérdida de un millón de hectáreas de vegetación natural en el período 1980-2000 por la SEMARNAT (2002); así como por prácticas de cultivo que dejan el suelo al desnudo y favorecen su arrastre tanto por el viento como por la lluvia, tanto en terrenos planos como en zonas de ladera. En este último caso los desmontes realizados con fines agrícolas, conocidos en el área de la subcuenca Chapala como ecuaros o coamiles, tienen la particularidad de ser fértiles por cortos períodos de tiempo y pierden después su capacidad productiva, lo que favorece su abandono para continuar con mayores aclareos (Juárez, et al, 2002).

Otras prácticas relacionadas con la degradación y pérdida de suelos en la zona, son la ganadería extensiva realizada en condiciones de escasa planeación y el exceso de carga (Juárez et al., 2003) tanto para ganado vacuno como para caprino, este último particularmente dañino por su característica de arrancar las hierbas de raíz y su facilidad para ramonear incluso arbustos de gran tamaño, al trepar por las ramas bajas de los mismos. Las precipitaciones en el área pueden llegar a ser muy intensas y a

concentrarse en áreas determinadas, lo que localmente se denomina “piquetes de culebra” (Juárez y González, 2009), las cuales al caer en áreas deforestadas dan origen a cárcavas y arrastre de rocas y lodo.

A nivel mundial, la agricultura se considera la principal fuente del azolve que afecta los cuerpos de agua, principalmente porque muchas áreas agrícolas carecen de protección vegetal durante largos períodos de tiempo durante el año (tras la cosecha y mientras las semillas germinan y crecen lo suficiente). Esta circunstancia se magnifica cuando la agricultura se realiza en zonas de ladera. La pérdida de suelo afecta a la propia actividad agrícola, ya que el suelo de la capa superficial suele ser también el más fértil y su pérdida merma la capacidad productiva. El suelo arrastrado se deposita en lagos y presas, lo que aumenta su turbidez y reduce su productividad biológica (al dificultar la penetración de la luz), además de reducir la capacidad de almacenamiento de líquido incluso a niveles extremos (Stráskava y Tundisi, 1999). Además de lo anterior, los sólidos depositados en el fondo del lago alteran la batimetría del mismo, pudiendo producir alteraciones en las corrientes y con ello en la distribución de nutrientes y las poblaciones de peces. Además, la alteración de las corrientes puede aumentar el depósito de azolve en determinadas áreas, con la consecuente modificación de áreas de apareamiento de peces y la posibilidad de afectar áreas de uso para la navegación y las prácticas pesqueras. El azolve puede también aumentar la superficie utilizada por las plantas acuáticas (principalmente el tule), lo que facilita la ampliación de superficie utilizada por este tipo de vegetación; esto produce tanto efectos positivos como negativos en la interrelación de ecosistemas terrestres y acuáticos.

Las estimaciones con respecto al volumen de sólidos depositados en las aguas del Lago Chapala varían ampliamente, de miles de toneladas a cientos de miles de toneladas al año. Valdez et al., (2000) calcula que entre 1930 y 1977 entraron 78 millones de m³ de sólidos arrastrados por el Río Lerma. Este proceso incrementa la turbidez, lo que disminuye la cantidad de luz y los efectos de fotosíntesis realizados por el fitoplancton, lo que tiene implicaciones directas en toda la cadena trófica del ecosistema lacustre.

Materiales y métodos

La cuantificación o medición del grado de erosión de un suelo puede realizarse por métodos teóricos o empíricos y por modelos experimentales. De estos últimos, las parcelas de escurrimiento (estaciones de monitoreo) es uno de los más confiables para determinar las pérdidas de suelo por efecto hídrico, ya que involucran la captación del caudal líquido y sólido.

A partir de información documental y de campo recopilada de forma previa por los investigadores, se identificó como zonas de especial interés por su volumen potencial de pérdida de suelo a las áreas de cultivo,

y se determinó organizar las mismas en tres categorías: a) de temporal (dependiente de las lluvias), b) de riego y c) de ladera. En dichas áreas se instalaron parcelas de escurrimiento, además de instalar otras en áreas con cobertura forestal, tanto degradado como en buen estado de conservación.

El método elegido, mencionado en el Manual de Conservación de Suelo y el Agua del Colegio de Postgraduados de Chapingo (1979), considera los siguientes componentes:

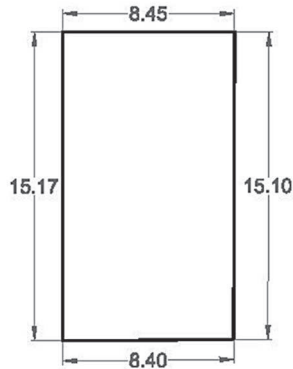
- a) Selección de un área representativa con las condiciones que se desean para determinar la pérdida de suelo por erosión.
- b) Ubicación de los lotes o parcelas de escurrimiento a lo largo de la pendiente principal del terreno; el perímetro se confina por medio de láminas metálicas u otro material, procurando que se fijen el terreno, pero que sobresalgan sobre este de 20 a 30 cm.
- c) Colocación en la parte baja de la parcela de escurrimiento de un tanque con capacidad suficiente para coleccionar los escurrimientos máximos generados.
- d) Medición del volumen escurrido tras cada lluvia; después se capta en un recipiente graduado y se toma muestra de un litro.
- e) Separación de los sedimentos y determinación del peso; éste se multiplica por el volumen escurrido y se obtiene el total de suelo perdido por erosión.

Para el estudio se estableció un total de 40 parcelas, distribuidas como se muestra en el Cuadro 1.

Uso del terreno	Cantidad de parcelas
Cultivo de riego	8
Cultivo de temporal	9
Cultivo de ladera	4
Pastizal	5
Bosque de encino-pino	4
Bosque tropical caducifolio	4
Matorral subtropical	6

Cuadro 1. Distribución de las parcelas de escurrimiento por tipo de vegetación/ uso de suelo.

Cada parcela tuvo en promedio una superficie de 128 m² (8x16m), si se considera que el perímetro de la misma tuvo que ajustarse de acuerdo a la forma y distribución en el terreno (Figuras 1 y 2). En cada parcela se integró una Ficha Descriptiva que incluyó la georreferenciación del sitio, con lo que se construyó un mapa de localización de parcelas de escorrentía.



Parcela 1

Figura 1. Imagen representativa de una parcela de escurrimiento.



Figura 2. Diseño final de las parcelas instaladas.

Las parcelas fueron delimitadas y aisladas con láminas galvanizadas de 3.0x0.4m, las cuales fueron fijadas en el suelo, enterrándolas o utilizando rocas y estacas según el caso; estas sobresalían 30 cm de la superficie, aproximadamente. (Figura 3).

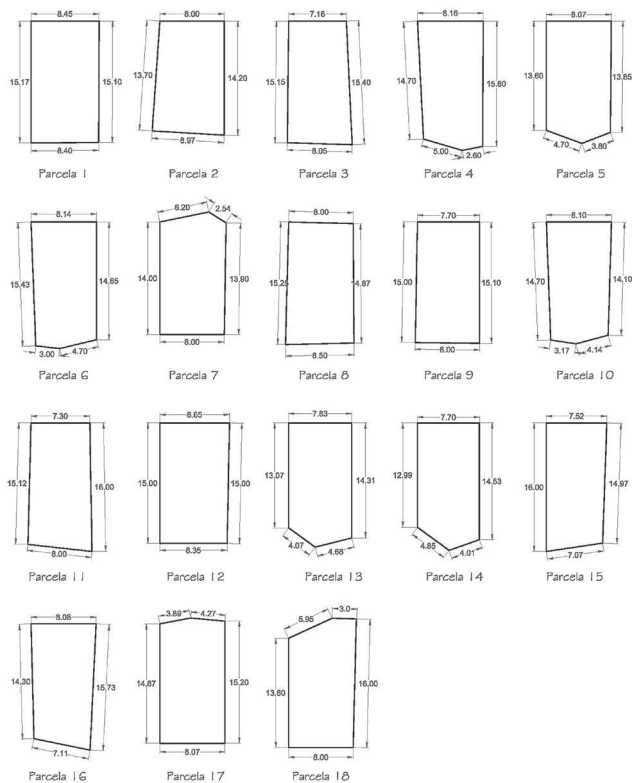


Figura 3. Esquema de la delimitación a base de lámina galvanizada.

Cada una de las parcelas estaba compuesta, además de la zona de escurrimiento, por un sistema colector que en este caso constaba de un tambor de 100 litros, el cual fue colocado en posición horizontal y en el sentido de la pendiente. A dicho recipiente se le retiró el fondo y se le colocó una malla plástica mosquitera en el extremo inferior, con la finalidad de retener los sedimentos arrastrados por el agua escurrida. Esta malla se colocó con un cinturón metálico para evitar la pérdida por arrastre de la misma (Figura 4).



Figura 4. Sistema colector de sedimentos.

Con el fin de evitar su destrucción o remoción por parte de los dueños/ usuarios del terreno se establecieron acuerdos económicos con los mismos, quienes se comprometieron a respetar las estructuras por el tiempo de desarrollo del proyecto, evitando alterarlas y removerlas, condición que fue cumplida en todos los casos.

Se realizaron tres colectas de sedimento durante la época de lluvias. En cada una de ellas se retiró el cedazo colocado en el fondo de los recipientes colectores y se colectó la totalidad de los sedimentos, que fueron vaciados en bolsas de plástico e identificados para su transportación, como se muestra en la Figura 5. Para asegurar la colecta de todo el suelo acumulado se utilizó una espátula y una brocha de cerdas gruesas para retirar el sedimento del interior de cada tambo.

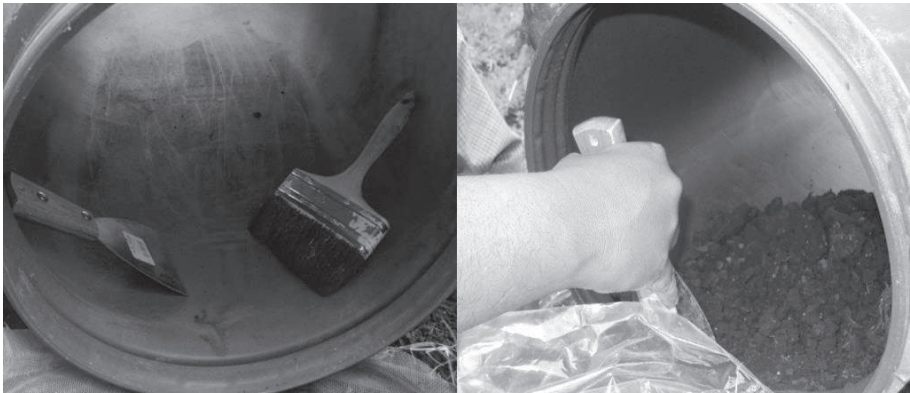


Figura 5. Colecta de sedimentos del sistema receptor.

Los sedimentos colectados se pesaron en una balanza analítica del laboratorio de suelos y aguas del CIIDIR-IPN Unidad Michoacán; inmediatamente después, se tomó una muestra de 100 g de suelo para determinar la humedad presente en los sedimentos. La muestra fue tratada después por medio de una estufa de laboratorio durante 12 horas a 60°C, y se restó el peso inicial con el final. Con los sedimentos de los tres muestreos, se cuantificó el arrastre total por cada una de las parcelas de escurrimiento expresado en toneladas por hectárea (Ton/ha). Para determinar el valor de la erosión por categoría de uso de suelo se promediaron los resultados de las parcelas de la misma categoría.

A través del análisis espectral del territorio de la subcuenca y utilizando información cartográfica y recorridos de campo complementarios, se elaboró un mapa de uso actual de suelo, el cual muestra la superficie de los principales usos del espacio terrestre. La forma en que dicho mapa fue elaborado se detalla en el Capítulo 7. De acuerdo al mismo, la agricultura de riego tiene una superficie de 41,563.9 ha, la agricultura de temporal de 54,049.4 ha y la agricultura de ladera de 7,494.4. Asimismo, el bosque tropical caducifolio cuenta con 69,110.7ha, el pastizal con 11,014.2 y el bosque

de encino-pino con una superficie de 12,852.5 ha. La localización de dichos tipos de vegetación se muestra en el Mapa de uso Actual de Suelo (Capítulo de mapas).

De forma complementaria, en cada sitio donde se ubicó una parcela de escorrentía se realizó un perfil de suelo, con el fin de conocer las características de las diferentes capas (perfiles). Los resultados analíticos de algunos parámetros físico-químicos, por horizonte de cada perfil, se muestran en el Cuadro 2. En la subcuenca predominan las texturas arcillosas con estructuras claramente angulares a subangulares. Cabe destacar que la información aportada tanto por los perfiles de suelo como por el volumen de erosión hídrica se emplearon como insumos para la construcción de la Herramienta de Monitoreo de Agua y Suelo (SWAT, por sus siglas en inglés) como se menciona en el capítulo correspondiente.

No. de Muestra	Profundidad (m)	pH	C. E. (μS/cm)	% M.O.	% N	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clasificación	Estructura
1A	0-0.24	7.3	275	2.05	0.08	13.5	8	78.5	Arcilla	B. Subangulares
1B	0.24-0.46	7.2	329	1.64	0.07	11.1	8.7	80.2	Arcilla	B. Angulares
1C	0.46-0.68	7.1	395	1.62	0.06	8.8	8	83.2	Arcilla	B. Angulares
1D	0.68-1.04	7.1	352	0.48	0.02	5.5	6.3	88.2	Arcilla	B. Angulares
2A	0-0.13	7.2	508	3.21	0.13	14	11.8	74.2	Arcilla	B. Subangulares
2B	0.13-0.27	7.4	219	1.71	0.07	18.2	9.6	72.2	Arcilla	B. Angulares
2C	0.27-0.50	7.3	245	1.44	0.06	10.2	9.6	80.2	Arcilla	B. Angulares

Cuadro 2. Muestra de resultados analíticos físico-químicos en suelos.

En el archivo digital incluido en el CD Anexo se presenta la descripción general de cada perfil de suelos, así como imágenes de los mismos.

Considerando el promedio de pérdida de suelo de acuerdo a las categorías de uso del territorio y con base en su superficie específica dentro de la subcuenca Chapala se calcularon los valores globales de pérdida de suelo. El Cuadro 3 muestra los datos correspondientes a la superficie agrícola.

Uso de suelo	Superficie (ha)	Pérdida de suelo (kg/ha)	Total de suelo perdido en la subcuenca (ton/año)
Agricultura de riego	41,563.9	166.73	6,929.94
Agricultura de temporal	54,049.4	925.85	50,041.63
Agricultura de ladera	7,494.4	6,095.38	45,681.21
TOTAL	103,107.7	—	102,652.78

Cuadro 3. Valores globales de pérdida de suelo en zonas agrícolas.

Resultados

El Cuadro 3 muestra que las zonas agrícolas contribuyen de forma muy significativa a la pérdida de suelo, con un total de 102,652.78 toneladas para el período de estudio. El caso más severo es el de agricultura de ladera, que con una superficie de tan sólo 7.17% de las áreas agrícolas contribuye con el 44.5% del suelo perdido en este tipo de actividad productiva (Figura 6). Esto se debe a que la agricultura de temporal se practica en áreas con pendientes hasta del 35%, sin que se realicen prácticas de conservación de suelos. Dichas zonas anteriormente eran ocupadas por cobertura forestal de diverso tipo. La pérdida de materia orgánica reportada para las áreas agrícolas fue de 7.3% mientras la pérdida de nitrógeno arrojó valores de de 0.29%.

Con respecto a la pérdida de suelo en las zonas forestales, el Cuadro 4 muestra los datos correspondientes.

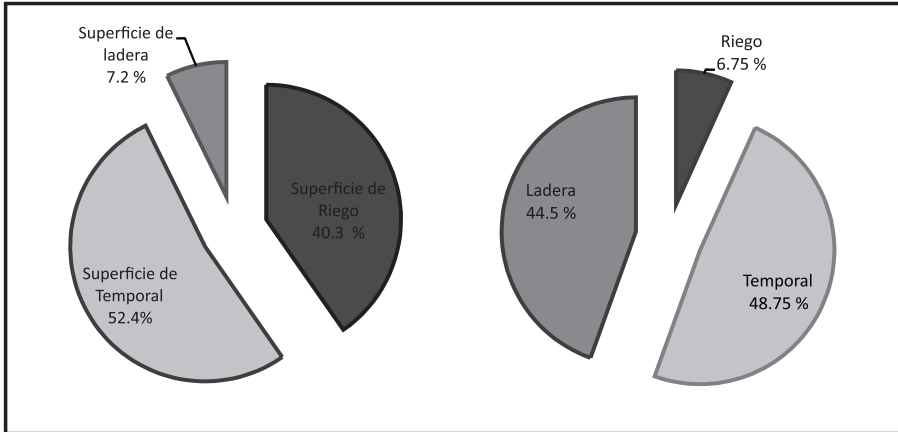


Figura 6. Proporción de superficie agrícola y volumen de erosión que genera.

Uso de suelo	Superficie (ha)	Pérdida de suelo (kg/ha)	Total de suelo perdido en la subcuenca (ton/año)
Bosque tropical caducifolio	69,110.7	5.77	398.76
Pastizal inducido	11,014.2	98.9	1089.3
Bosque de encino-pino	12,852.5	22.7	291.75
Matorral subtropical	20,720.7	13.2	273.51
		TOTAL	2,618.58

Cuadro 4. Valores globales de pérdida de suelo en zonas forestales.

De las áreas con cobertura forestal la que pierde más suelo es el pastizal inducido (18 veces más que el bosque tropical caducifolio). Se destaca que tanto el bosque tropical caducifolio como el matorral subtropical tienen una pérdida de suelo sumamente baja.

De acuerdo a lo anterior, el total de pérdida de suelo para el período de estudio (considerando tanto las zonas agrícolas como forestales) fue de 105,271.36 ton/año del cual el 97.11% fue generado en las zonas agrícolas y el 2.49% en las zonas forestales.

Además, los resultados de laboratorio muestran que la materia orgánica fue uno de los componentes del suelo que más se perdieron durante el proceso de erosión hídrica, cuyos porcentajes llegaron a ser hasta del 5.12% en cultivos de temporal, con un 0.20% de nitrógeno total; así mismo, el componente textural con mayor pérdida es el correspondiente a las arcillas, con contenidos hasta del 76.2%. Aun en los suelos con menor pérdida por erosión (matorral subtropical), el porcentaje de materia orgánica que se perdió es elevado, hasta del 11.48% y su contenido de nitrógeno total de 0.46%.

Conclusiones y recomendaciones

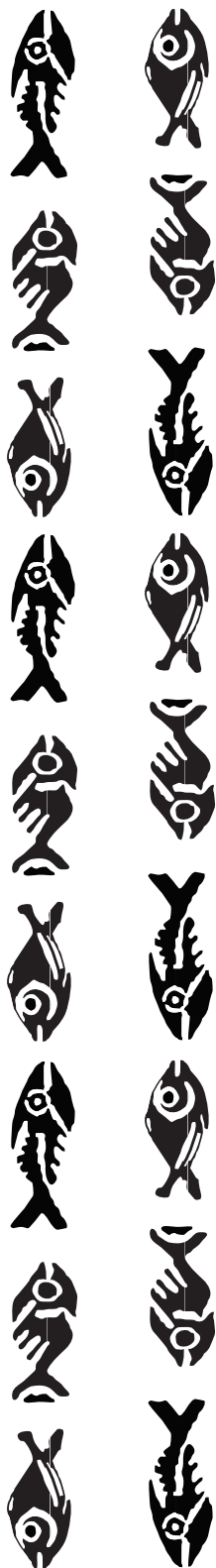
Los resultados muestran que la pérdida de suelo en la subcuenca Chapala se concentra en las zonas agrícolas, en particular en los cultivos realizados en espacios de alta pendiente (cultivos de ladera o ecuaros), a través del cambio de uso de suelo forestal a agrícola. Asimismo resalta el valor de las zonas forestales (bosques, matorral y pastizal) para proteger el suelo, traducido en un reducido nivel de erosión hídrica.

Esto último destaca a pesar del poco aprecio que los pobladores de la región tienen por ambos tipos de vegetación, al estar compuestos en su mayoría por especies de crecimiento lento, bajo fuste y troncos retorcidos (Juárez et al, 2002). Esto llama la atención sobre la necesidad de conservar las zonas forestales, ya que incluso tratándose de arbolado de tamaño pequeño a mediano (géneros *Mimosa*, *Bursera*, *Acacia*, entre otros) y de cactáceas (como *Stenocereus* y *Opuntia*) contribuyen de forma importante a la retención de suelo. Es necesario señalar que los datos reportados para zonas forestales se corresponden a zonas con cobertura de vegetación mayor a 60% y que dentro de los bosques de la subcuenca hay muchas áreas con altos niveles de degradación por efectos de deforestación, incendios forestales y sobrepastoreo, por lo que los datos deben entenderse en dicho contexto.

Asimismo, cabe destacar que los volúmenes de erosión que se reportan en este trabajo se dieron en un año de baja precipitación pluvial, lo que implica que en condiciones de mayor caída de lluvia la cantidad de suelo perdido se incrementará, con los consiguientes efectos de pérdida de fertilidad en las zonas de cultivo y un mayor azolvamiento de los cuerpos de agua de la zona (presas, bordos, arroyos, ríos y el Lago Chapala).

Literatura Citada

- Colegio de Postgraduados. 1979. Manual de Conservación de Suelo y el Agua. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 248 p.
- Cotler, H. 2003. Degradación de suelos en la Cuenca Lerma-Chapala, México a escala a1:250,000. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- FAO. 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. Roma, Italia.
- Juhasz, M. 2002. Cambio Tecnológico y Agricultura Sustentable en la Ciénega de Chapala. En: Durán Juárez, J.M.; A. Torres Rodríguez, B. Boehm Schoendube, M. Sánchez Rodríguez. Memorias del II Encuentro de Investigadores del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago: Política, tecnología y Sustentabilidad, Pasado y Presente. Universidad de Guadalajara/El Colegio de Michoacán.
- Juárez, A.; M.E. Reyes, E. Montaña, R. Velázquez, I. Gálvez. 2002. Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca Cóndiri, municipio de La Barca, Jalisco. Fideicomiso de Riesgo Compartido/Ayuntamiento de La Barca/Corazón de la Tierra, A.C. 72 pp.
- Juárez, A.; R. Velázquez, M. Váldez, y E. Montaña. 2003. Actualización del Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca Rancho Viejo, municipio de Ocotlán. Fideicomiso de Riesgo Compartido/Ayuntamiento de Ocotlán/Corazón de la Tierra, A.C. 73 pp.
- Juárez A. y C. González. 2009. Guía de Educación Ambiental de la Sierra Cóndiri-Canales. Corazón de la Tierra/Secretaría de Desarrollo Social/Instituto Nacional de Desarrollo Social. México. 160 pp.
- Mass, M. M. 1998. Erosion de Suelos en Mexico: una consecuencia de la transformación del hábitat y uno de los problemas más serios de degradación ambiental . En: Toledo G. y M. Leal-Perez (edit). Disminución del hábitat. Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA), Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- SEMARNAT. 2002. Programa para la Recuperación y Sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Gobierno de la República. Documento de Análisis Interno. Ciudad de México, México.
- Sturm, T. W. 2001. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill. New York, USA.
- Straskava, M. and J.G. Tundisi. 1999. Guidelines of Lake Management, Volume 9. Reservoir Water Quality Management. International Lake Environment Committee Foundation. Orosimo, Japan.
- Valdez, A.; M. Guzmán y S. Peniche. 2000. La crisis de la cuenca de Chapala. Análisis de sus problemas y alternativas de solución. En: Chapala en crisis. Análisis de su problemática en el marco de la gestión pública y la sustentabilidad. A. Valdez, M. Guzmán y S. Peniche. Universidad de Guadalajara. México. P. 66-67





CAPÍTULO 4.-

LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y EL USO DE AGROQUÍMICOS EN LA SUB-CUENCA CHAPALA.

Maribel Rivera (1), Rodrigo Moncayo (1), Carlos Escalera (1), Alejandro Juárez (2), Nayeli Pérez Olivares (2)

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Michoacán. Justo Sierra No. 28, C. P. 59510, Jiquilpan, Michoacán. Tel: 3535330218.

²Corazón de la Tierra-Instituto de Desarrollo Ambiental. Ramón Castañeda # 979, C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco. Tel 52+3338251361 corazondelatierra@gmail.com

Resumen

La agricultura representa la principal actividad productiva de la subcuenca Chapala. En este capítulo se presenta información detallada de los cultivos y se discute las condiciones en las que se desarrollan en la región. Para ello, se realizaron entrevistas con los integrantes de las asociaciones de productores y se aplicaron encuestas a los productores con temas relacionados al estado socioeconómico, tipos de cultivo y volúmenes de aplicación de agroquímicos. La subcuenca está enmarcada en dos distritos de riego: el de la Ciénega de Chapala (024) y el de Jalisco (013). Los municipios pertenecientes a la subcuenca participan principalmente en la producción de granos básicos donde predomina el maíz con altos rendimientos promedio. Se tienen tres modalidades de cultivo: riego, temporal y ecuaro, último que se realiza en las pendientes de las zonas montañosas. Se detectó una edad promedio de 53.1 años lo que implica un poco reclutamiento a la actividad productiva y el tamaño de la propiedad es pequeña (1 a 6 ha). Los apoyos gubernamentales se presentan en alrededor del 70% y hay poca organización porque la compra de insumos y venta de la cosecha se realiza más de manera individual que a través de alguna asociación. Hay diferencias territoriales en cuanto al desarrollo de la práctica, como un mayor uso de fertilizantes y herbicidas en Ocotlán, Poncitlán y Sahuayo y más plaguicidas en Atotonilco, Jocotepec y Marcos Castellanos. Una de sus principales características en la mayor parte de la superficie cultivada es el atraso tecnológico como la utilización de grandes cantidades de agua, fertilizantes y pesticidas. Se identificaron seis principales fertilizantes, 18 sustancias activas de herbicidas y 23 de plaguicidas. Se aplican un promedio de 254 kg/ha de cada fertilizante, 1.9 kg/ha por cada herbicida y 1.4 kg/ha por cada plaguicida anualmente. Es importante señalar la presencia de compuestos con alto grado de toxicidad, entre estos paratión metílico y carbofuran.

Palabras clave: contaminación difusa, pesticidas, fertilizantes, ANOVA.

Introducción

Las actividades agropecuarias reciben una influencia decisiva de las condiciones físico-naturales que presenta el medio geográfico. El clima, así como las condiciones fisiográficas, hidrográficas y el origen geológico presentes en la subcuenca, generan una gran diversidad de sitios que tienen influencia y favorecen el desarrollo de los sistemas agropecuarios. Otra característica que ha permitido su desarrollo son las políticas económicas que las han favorecido a lo largo del tiempo por sobre otras actividades productivas. Como ejemplo se tiene el proyecto de desalojo del agua del llamado Mar Chapálico que data de 1842 y que se concluyó a principios del

siglo pasado con la construcción del dique que convirtió 50,000 hectáreas en zonas desecadas, para promover especialmente la agricultura (Boehm, 2002).

Los municipios localizados en la subcuenca del Lago de Chapala, forman parte de dos distritos de desarrollo rural (DDR): el de Sahuayo (089) y el de La Barca (070). La producción agrícola en los mismos se realiza durante los ciclos de otoño-invierno y primavera-verano, predominando el sistema de riego sobre el de temporal en el estado de Michoacán por la presencia de la ciénega (las zonas desecadas). Dado que dicha actividad impacta la calidad de los recursos agua y suelo en el contexto de la contaminación difusa, en este estudio se hace un análisis de la manera como se desarrolla; así como del tipo y cantidades de agroquímicos que se utilizan en los diferentes municipios. Para cumplir con esto, se diseñó y aplicó una encuesta semi-abierta a los productores. Las encuestas están orientadas a obtener información tanto en el aspecto social y económico, con variables como: localidad, edad, apoyos de gobierno, posesión del terreno, temporada de siembra (temporal y riego), semillas e insumos, cosecha y venta, recomendación de adquisición de los productos químicos incorporados al cultivo y el empleo de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes. Se aplicaron técnicas multivariadas para interpretar los resultados de las encuestas, dirigidas principalmente a la reducción de la estructura de datos y a la clasificación de las unidades de análisis o de las variables en grupos. Además, el análisis permitió evaluar la consistencia de las bases de datos obtenidas de la sistematización de las encuestas aplicadas a los productores.

Antecedentes

Las actividades agropecuarias en las cuencas, principalmente aquellas dedicadas a la producción comercial especializada, tienden a sustituir los ecosistemas naturales por terrenos para la producción de monocultivos irrigados, que requieren maquinaria pesada e insumos químicos para su buen desarrollo. De esta manera, las típicas zonas de producción agrícola tecnificada y especializada carecen casi por completo de cualquier vestigio de sus ecosistemas naturales originales (SEMARNAT, 2006). Una preocupación grande por la intensificación de las prácticas agrícolas es el creciente uso de fertilizantes y pesticidas, lo que crea un impacto importante tanto en el agua como en el suelo (Gevaert et al., 2008).

El paisaje de la Ciénega de Chapala ha sufrido transformaciones que van de humedal a terreno agrícola en un corto período de tiempo. En tiempos prehispánicos, la agricultura en la zona fue una actividad complementaria y la subsistencia humana estuvo basada en la pesca, la caza y la recolección (Covarrubias-Villa, et al., 2008). En el siglo XVIII predominaba la actividad pesquera y del tránsito acuático entre los pueblos indígenas de la ribera del lago de Chapala, donde grupos indígenas traficaban a tra-

vés del Lago de Chapala utilizando canoas (Castañeda, 2005).

Actualmente, la vocación productiva en la denominada “región ciénega”, es básicamente agrícola. Lo anterior es el resultado de la desecación del lago a principios del siglo XX, a partir de la cual surgió un área aprovechable agrícola con disposición de riego a través de una red de canales y caminos. Es importante señalar que actualmente la región ciénega es muy productiva, habiéndose obtenido en 2007 rendimientos de 17 ton/ha de maíz, un récord a nivel nacional (Sandoval-Moreno y Ochoa-Ocaña, 2010).

En este contexto, se han realizado estudios del desarrollo económico en la ciénega que hacen referencia al uso del suelo de labor por hectárea. El destino de la producción se distribuye en un 7.8 % a autoconsumo, 15.6 % a venta local y nacional y el 11 % a venta local, nacional y de exportación en relación a toda la producción del estado de Michoacán (Carbajal y Chávez, 2006).

En términos de la cantidad del agua necesaria para el desarrollo de las actividades productivas, el análisis de la región ciénega en la parte correspondiente a Jalisco indica que no existe volumen disponible, siendo éste negativo (-57,610,348; CONAGUA 2002). Derivado del uso del agua en la agricultura, a través de la extracción de mantos acuíferos, se ha promovido la salinización de suelos (aguas con 15 meq/l; Ochoa et al., 2001). También se tienen análisis de la hidroquímica de las aguas superficiales de la ciénega de Chapala e índices de calidad de agua, donde destaca un incremento de contaminantes aguas abajo y la presencia de sustancias (i.e., SO₄) derivadas del uso de agroquímicos en general (Chávez-Alcántar et al., 2011).

Materiales y métodos

Como punto de partida se consultó la base de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), de donde fueron rescatados los datos estadísticos actuales que se compararon tomando en cuenta los municipios que conforman la subcuenca dentro de los dos distritos de desarrollo rural. Así se determinaron los principales cultivos, la superficie cultivada, los valores de producción y el precio de los mismos (SIAP, 2011).

Tamaño de muestra

Para la aplicación de las encuestas, en el cálculo del tamaño de muestra se utilizó el principio de muestreo aleatorio simple, teniendo en cuenta que la población a analizar es muy grande, por medio de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2} p q 100}{E^2}$$

Donde n es el tamaño de la muestra, $Z_{\alpha/2}$ es el nivel de confianza (se asume una distribución normal estándar), pq es la variabilidad y E es el nivel de precisión. Partiendo de la definición de parámetros, en donde $Z_{\alpha/2}$ al 95% es 1.96, pq se relaciona con la utilización de agroquímicos en las actividades (plaguicidas y herbicidas) y están definidos por los valores 60% y 40% respectivamente; y donde E se definió como 5%, se obtiene el siguiente valor:

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.6)(0.4)(100)}{(0.5)^2} = 368$$

Con base a este resultado, se aplicaron encuestas a 368 agricultores de Michoacán y Jalisco (152 y 216 respectivamente) divididos en tres grupos tipológicos: de riego, de temporal y de ladera. Dichas categorías se definieron considerando las diferencias de sus procesos productivos y con la intención de verificar si había o no variación con respecto al uso de agroquímicos en los mismos. La encuesta se construyó en forma semi-estructurada, con 32 preguntas (reactivos) presentadas en forma abierta y cerrada, de acuerdo a los lineamientos planteados por Rojas Soriano (1987). La información recabada en las encuestas se utilizó asimismo en la caracterización de estos grupos agrícolas, cómo se detalla en el capítulo del libro correspondiente a la Plataforma de Participación Múltiple.

Análisis de la información

Se empleó la herramienta de tablas dinámicas en Excel (Microsoft Office Excel 2007) para vaciar la información de las encuestas, una vez que dichos datos de conjunto se organizó y sistematizó, se utilizó para elaborar gráficos de referencia.

En el caso de los agroquímicos, a partir de los nombres comunes citados por los entrevistados, se identificaron los principios activos de los mismos (ya que diferentes productos comerciales cuentan con el mismo principio químico), con los cuales se implementó el análisis estadístico. Para determinar cantidades aproximadas de la aplicación de dicho principio activo, se realizó una valoración de la presentación del producto, puesto que según se adquiera en forma líquida o granular, la cantidad de la sustancia varía (i.e., paratión metílico en presentación líquida contiene 540 gramos de principio activo por litro y en granulado 30 gramos de principio activo por kilogramo) (Tabla 1). Se hizo un análisis de las características de dichos principios, para determinar su persistencia y nivel de toxicidad con el auxilio de la información del Instituto Nacional de Ecología (INE, 2013) y De Liñán (2011). En total se identificó un total de 41 sustancias activas, (18 correspondientes a herbicidas y 23 a pesticidas). Las fichas de las mismas se incluyen como Anexo en el CD que acompaña a este libro.

Sustancia activa	Nombres comerciales encontrados	g/L	g/kg	Toxicidad
HERBICIDAS				
PARAQUAT	Gramoxone, Gramocil, Gemelos 22%, Transquat, Prelude		250	II
DICAMBA	Marvel, Banvel		480	IV
2,4-D	Hierbamina no menor de 83%, Hacha, Esteron 47, Dacamine		480	III
GLIFOSATO	Coloso Total 360 28%, Glif 300, Faena, Roundup		480	IV
OXADIAZON	Ronstar		250	IV
CLODINAFOPPROPARGYL	TOPIK® 240 EC 23.6%, Topik Gold 8.3% (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			IV
NICOSULFURON	Sanson 4 sc (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			IV
ATRAZINA	Calibre 90 GDA, Primagram Gold 33.7%, Guardsman 35.30%, Gesaprim Aatrex	900		IV
METSULFURON METIL	Sigma Forte 1.0 %, Ally	600		II
TRIASULFURON	Amber 75 GS (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			III
DIMETHENAMIDA	Guardsman 18.20%, Pursuit	900		III
PICLORAM	Hacha, Tordon	240		IV
S METOLACLOR	Lumax 29.40%, Dual		915	IV
DIURON	Gemelos 10 %, Karmex	800		IV
GLUFOSINATO DE AMONIO	Finale 13.50 %, Basta	150		II
FLUCARBAZONE SODIO	Everest, Everest Ultra, Vigia (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			II
ACETOCLOR	Harness 75.3%			II
PLAGUICIDAS				
CIPERMETRINA	Arrivo 21.42%, Tirano, Ammo		200	III
CLORPIRIFOS	Lorsban, Foley rey 33.8%	480	10	III
PARATON METILICO	Flash 2%, Folodoi-M72, Penncap-M	540	30	I
CARBOFURAN	Furadan	100	50	II
METAMIDOFOS	Tamaron 43.3 Tramofos (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			I
DIMETOATO	Dimetoato, Cygon	480	48	III
 DIAZINON	Dragon 25%, Basudin 600, EC 60%, Spectracide	236	42	III
PYRACLOSTROBIN	Headline 23.6% (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			II
LAMDA CYALOTRINA	Karate 5%	70		III
PIRIMICARB	Pirimor 50 % (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			II
ENDOSULFÁN	Thiodan	375		I
IMIDACLOPRID	Muralla (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			III
MALATIO	Malati6n, Cythion	520	40	IV
ETI6N	Etion, Ethanox	500		II
PERMETRINA	Ambush 48.34%, Maton 90%, Pounce	340		I
TERBUFOS	Triunfo 5%, Vikingo 5%, Counter 15%, Acance 5%	150	50	II
CIPERMETRINA (ZETA CIPERMETRINA)	Mustang 12%, Ammo	200		III
METOMILO	Lannate	214		II
BENZOATO DE EMAMECTINA	NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code			IV
TEBUPIRIMIPHOS	Azteca, 2.000, Granulado 2.0% (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			III
SPINETORAM 4L	Palgus 5.87% (NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code)			IV
PYRACLOSTROBIN	Headline 23.6%			IV

Tabla 1. Agroquímicos utilizados en la subcuena de Chapala, donde se describe el principio activo y los gramos por litro o por kilogramo, así como su nivel de toxicidad.

Análisis estadístico

Considerando los valores de la edad, los datos se sometieron a un análisis de varianza de una vía (ANOVA). Para este análisis estadístico se determinaron las diferencias entre medias, con un intervalo de confianza del 95% (P=0.05). Se graficaron los valores medios y el intervalo de confianza para la variable.

Se utilizó el análisis de componentes principales Categórico (CATPCA, por sus siglas en inglés) con Escalamiento Óptimo, porque permite el estudio de variables cualitativas con diferente número de categorías (nominal y ordinal) (Linting y van der Kooij, 2012). Así, se puede estudiar la actividad productiva aplicando un modelo confirmatorio, con las diferentes variables seleccionadas de la base de datos que se aplicaron en toda la subcuena (Linting et al., 2007).

Para realizar el CATPCA se siguieron las siguientes etapas:

1. Formulación de las hipótesis:

Para plantear las hipótesis se formulan las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los factores explicativos del desarrollo de la actividad? ¿Qué variables contribuyen más a explicar estos factores?

A partir de estas preguntas se pueden formular las hipótesis siguientes:

Primera hipótesis: La actividad productiva (temporalidad y producto) está determinada por factores relacionados a la división política.

Segunda Hipótesis: Los apoyos gubernamentales son las variables determinantes en la condición de la actividad agropecuaria.

2. Definición de las variables explicativas:

Se analizaron 16 variables que presentan principalmente una escala nominal, algunas de las cuales han sido convertidas a dicotómicas. Una en particular, la que se refiere a apoyo de gobierno, es ordinal dicotómica codificándose sus categorías con 0 y 1. El valor 1 indicó la presencia de la cualidad correspondiente a una de las dos categorías y el 0 la ausencia de dicha cualidad, lo que implica una desventaja. Este artificio permitió obtener el valor analítico (signo) de los coeficientes estimados, al margen de la escala en que se han medido estas variables. Entre las variables intervállicas, se tiene a la edad y el número de hectáreas del terreno. Se utilizó el programa SPSS Statistics Ver. 17.0 (2008) en los análisis y gráficos.

Resultados

Características de la actividad productiva

El Distrito de Riego 024 que domina la ciénega de Chapala en Michoacán cuenta con una superficie total de poco más de 50,000 ha, de las cuales el 99.93% es superficie de riego, distribuidas en tres módulos. De la superficie sembrada, domina el cultivo de maíz con riego de punteo, con un valor de producción de cerca del millón de pesos, seguido del sorgo y el cártamo. Otros cultivos incluyen al garbanzo forrajero, la cebolla, el agave y los pastos.

El Distrito de riego cuenta con un total de 14,940 usuarios, el 74% de la superficie son tierras ejidales, el 21% son pequeña propiedad y el resto se encuentran bajo la modalidad de colonias. La superficie promedio ejidal con riego es de apenas 2.4 ha; se distancia fuertemente del promedio corres-

pendiente a colonos y pequeños propietarios, ya que éstas ascienden a 17.1 y 14.7 ha, respectivamente. La marcada diferencia entre las superficies promedio a partir del régimen de tenencia de la tierra es uno de los factores que determinan, entre muchos otros, las posibilidades de desarrollo de los productores, lo cual en gran medida depende del producto obtenido en las parcelas, del tipo y volumen principalmente, y de su acceso a los mercados.

El Distrito de Riego 013 (con 57,514 ha) forma parte de la Región IV-Ciénega del estado de Jalisco. A ella pertenecen dos módulos de riego, el No. 7 “El Fuerte” en Ocotlán y el No. 14 “Ejido Modelo” en Tizapán. La principal producción es de maíz, seguido del trigo el cual es muy importante en la región de La Barca y Ocotlán, principalmente. Sobresale de igual manera el cultivo del pasto y el sorgo. El agave predomina en La Barca y Poncitlán y se tiene cultivo de frambuesa en Jocotepec (SIAP, 2012)

1 Información recabada del Plan Director para la Modernización Integral del Riego en el Distrito de Riego 024 “Ciénega de Chapala”, Michoacán.

Análisis de la información

Las encuestas se aplicaron en 15 municipios de la subcuenca Chapala. De estos, diez pertenecen al estado de Jalisco y cinco a Michoacán. Del número de encuestas aplicadas en cada lugar, varió dependiendo principalmente de la cantidad de productores, además de la extensión territorial y el tipo de actividad agrícola –riego, temporal y ladera-, siendo este último el criterio dominante (Figura 1).

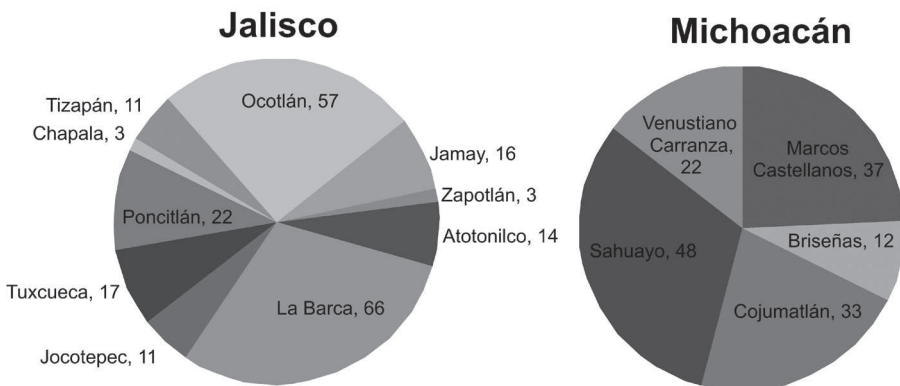


Figura 1. Número de encuestas aplicadas por cada municipio en los estados de Jalisco y Michoacán.

Entre las características que definen a esta actividad productiva, para el caso de la edad, el análisis de varianza muestra una diferencia significativa entre los dos estados ($F=4.36$, $p=0.037$). Se encontró una edad promedio de 53.1 años. En el mismo contexto, en términos de entidad federativa, es mayor el promedio de edad para el estado de Michoacán (55.2) que en Jalisco (51.9). Aunque cabe señalar que la mayor cantidad de encuestados

en Michoacán corresponden al intervalo de edad de 50-59 años, mientras que en Jalisco fue de 60-69 años, pero la edad más grande se presentó en el primero lo que modifica el promedio (Figura 2). La menor edad se presentó en Jalisco (19), mientras que la mayor edad se documentó en Michoacán (86).

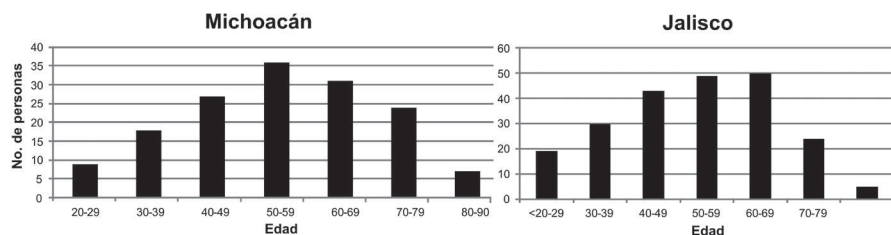


Figura 2. Frecuencia de edades de los encuestados por estado.

Con respecto al número de habitantes por casa, un poco más de la mitad presentan de 4 a 6 tanto en Jalisco como en Michoacán (58.2 y 55.3%, respectivamente) y sólo alrededor del 8% en ambos estados presentan de 7 a 9. En términos de escolaridad de los habitantes de la casa, alrededor del 10% de las encuestas presentan estudios universitarios en ambos estados (Figura 3). En cuanto a una ocupación adicional a la actividad agropecuaria, menos del 10% de los encuestados respondieron afirmativamente (5% en Jalisco y 8% en Michoacán). Los resultados sobre ocupación delatan gran dependencia económica en la actividad agrícola.

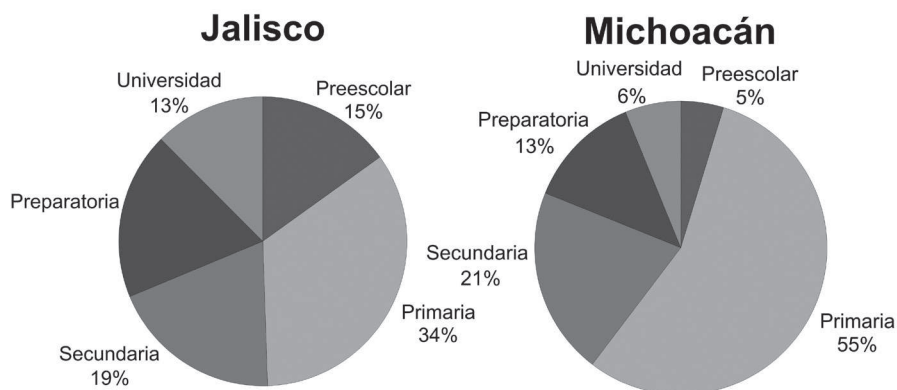


Figura 3. Escolaridad de los habitantes de la casa de los encuestados por estado.

En cuanto a la actividad productiva, se presentaron diferencias importantes entre los dos estados. En Jalisco, la gran mayoría de los productores se dedican exclusivamente a la agricultura (73.2%) y un porcentaje reducido a la ganadería o bien a las dos (26.8%). Por su parte en Michoacán, una tercera parte desarrolla sólo agricultura (35.5%) y el resto la agricultura y

ganadería simultáneamente o bien otra actividad (64.5%). Esto es reflejo de aspectos culturales, como tradicionalmente se ha desarrollado la actividad en ambos estados; de aspectos topográficos, por la presencia de la Ciénega en el lado de Michoacán; y por aspectos tecnológicos, ya que se encuentra, principalmente la actividad ganadera, más tecnificada en Jalisco. En lo que respecta a la temporada de siembra (temporal y riego), ambos estados presentan porcentajes similares, ya que la de temporal abarca más de la mitad (61.4 y 53.9% en Jalisco y Michoacán, respectivamente), mientras que el uso de la tierra en la modalidad temporal-riego presenta un valor un poco menor (38.6 y 46.1% en Jalisco y Michoacán, respectivamente). Cabe señalar que en el caso de Jalisco se incorporó la modalidad del ecuaro o cultivo en laderas (17%) que no es tan significativo en parte correspondiente a Michoacán por la poca pendiente del terreno.

Con respecto a la superficie del terreno, la gran mayoría de los encuestados son ejidatarios que poseen de 1 a 6 ha, aunque en Jalisco es un poco mayor el porcentaje de los que poseen de 1 a 2 ha (Figura 4). En lo que respecta al apoyo de gobierno, Jalisco presenta un mayor número de productores con apoyo (73.6%) que Michoacán (69.7%). Esto puede estar relacionado con la manera como se asocian y el grado de tecnificación.

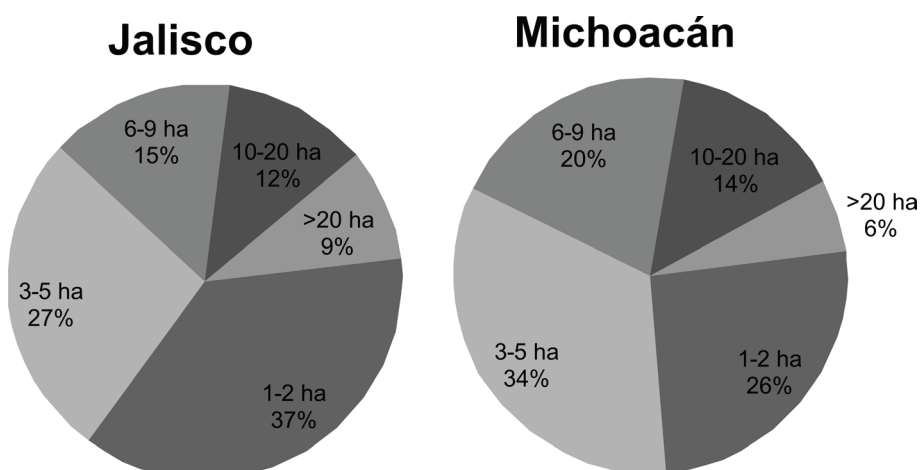


Figura 4. Superficie sembrada incluyendo las diferentes modalidades de cultivo.

Sobre el tema de dejar descansar la tierra, la generalidad de los productores no lo hace y esto es mayor en Michoacán (99%) que en Jalisco (86%). Esto es un aspecto importante porque representa un agotamiento de nutrientes del suelo, debido a que aún con la rotación de cultivos no se siembran necesariamente aquellos que pueden reintegrar elementos (i.e., leguminosas), lo que redundaría en el empleo constante y creciente de agroquímicos. El principal instrumento de labranza es el tractor (96.5% en Jalisco y 99.3% en Michoacán). Sin embargo, cuando se considera el ecuaro, cambian los porcentajes siendo mayor el azadón (56%), luego el tractor

(26%) y finalmente la tracción animal (18%).

La compra de los insumos que se utilizan en la producción, se hace de manera individual más que por asociación en ambos estados (81.4% en Jalisco y 96.7% en Michoacán). Aunque en la modalidad de riego se incrementa el porcentaje de los que lo hacen por asociación en Jalisco (35.3%). La cosecha se destina principalmente para la venta y es menor el porcentaje en Michoacán (47.4%) que en Jalisco (58.2%), lo cual se relaciona a que en el primer estado se practica más la agricultura y ganadería juntas. De la producción agrícola que se realiza a través de un sistema de riego, el 72.9% se destina a la venta y en contraste, en ecuaro sólo el 28%, teniendo un carácter de actividad de subsistencia. Para la venta de la cosecha, es diferente el porcentaje de quienes la hacen por contrato o de manera informal, siendo más alto en Michoacán el de forma informal (97.4%) que en Jalisco (35%).

En lo que respecta a los agroquímicos, el factor de quién recomienda el producto es muy importante para entender la manera en que impacta la actividad. En Jalisco se recurre más a la asesoría por parte de ingenieros agrónomos (60.9%) que en Michoacán (39.5%); en este último estado es donde se atiende más lo recomendado por la comercializadora (42.8% en Michoacán y 18.6% en Jalisco). De acuerdo a la precaución en la aplicación de agroquímicos, en Michoacán se tiene menos cuidado (32% ninguna) que en Jalisco (15%). La alternativa o complementación con el aporte de fertilizantes orgánicos es una práctica más común en Michoacán (36%) que en Jalisco (25%), aunque los valores siguen siendo bajos.

Agroquímicos

Se obtuvo reporte de siete fertilizantes principales (urea, fórmula triple, sulfato de amonio, nitrato, potasio, fosfonitrato y mezcla física), así como 18 sustancias activas de herbicidas y 23 de plaguicidas (Tabla 1). En cuanto a los fertilizantes se tiene como principales en ambos estados: la urea, el sulfato de amonio y la fórmula triple, correspondiendo al 87% en Jalisco y al 90% en Michoacán (Figura 5). El total de utilización de fertilizantes en las zonas de cultivo de la subcuenca Chapala (103,107 ha entre riego, temporal y ladera) es de 26,189 toneladas al año, con un promedio de utilización de 254 kg/ha.

Cabe mencionar que en algunos municipios como Marcos Castellanos y Venustiano Carranza (Michoacán) se utiliza más la fórmula triple que la urea, mientras que ésta se utilizó más en el temporal en Jalisco. Se tiene una aplicación promedio de urea de 260.8 kg/ha, siendo mayor en Michoacán (297 kg/ha) que en Jalisco (224.5 kg/ha). De la fórmula triple se aplica en promedio 391.9 kg/ha y de sulfato de amonio con 110.4 kg/ha. El fosfonitrato se utilizó mucho más en Michoacán, especialmente en Cojumatlán.

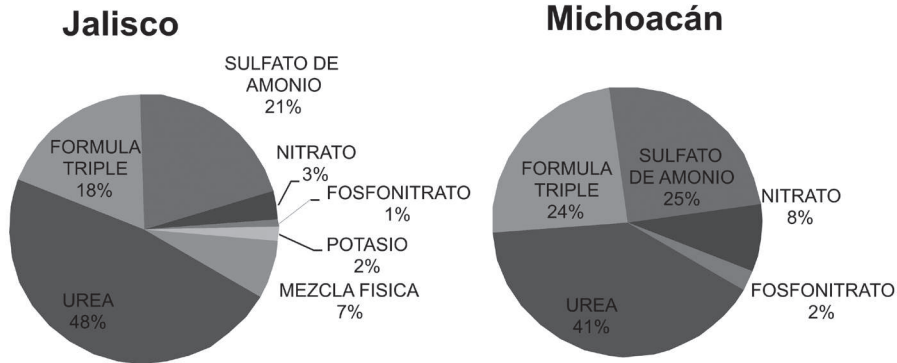


Figura 5. Porcentaje de uso de fertilizantes en la subcuenca del lago de Chapala.

En cuanto a los herbicidas, se tienen patrones comunes para ambos estados (Figura 6). El paraquat es el más utilizado en porcentajes similares del 35 y 37 % (Jalisco y Michoacán, respectivamente) con 0.7 kg de principio activo promedio en Michoacán y 1.8 kg en Jalisco. Para el glifosato se utiliza 1.95 kg en promedio por hectárea en Jalisco y 1.37 kg en Michoacán. La atrazina, que es el otro compuesto más común, tiene un mayor promedio de aplicación por hectárea en ambos estados (2.79 kg en Jalisco y 2.83 en Michoacán).

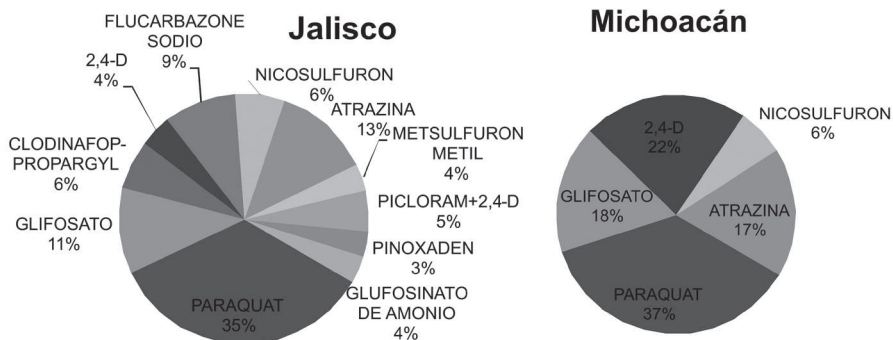


Figura 6. Porcentaje de uso de herbicidas en la subcuenca del lago de Chapala.

Para los plaguicidas, los resultados son variables: en Jalisco la cipermetrina fue la más empleada (1.97 kg/ha en promedio), mientras que en Michoacán fue el carbofuran (0.27 kg/ha en promedio) (Figura 7). Coinciden ambos estados en el uso de clorpirifos, tanto en porcentaje como en cantidad promedio (1.12 kg/ha en Jalisco y 1.06 kg/ha en Michoacán). Es importante señalar que el paratión metílico con alta toxicidad se utiliza en buen porcentaje en Jalisco, mientras que en Michoacán, Cojumatlán y Briseñas, diferentes productores mencionaron el producto prohibido aldrín.

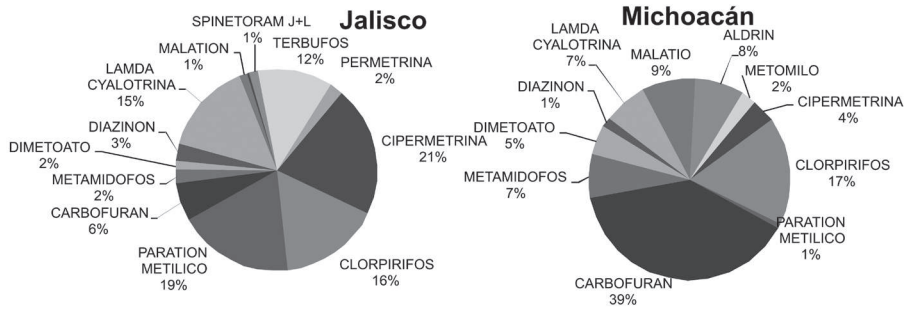


Figura 7. Porcentaje de uso de plaguicidas en la subcuenca del lago de Chapala.

Considerando el nivel de toxicidad reportado por el INE (2013) se encontró que un total de 22 sustancias activas de herbicidas y pesticidas tienen efectos clasificados como Nivel II (Altamente Tóxico) o Nivel I (Extremadamente Tóxico) para zooplancton, aves y peces (Tabla 2).

Sustancia activa	Grupos afectados		
	Plancton	Peces	Aves
PARATION METILICO	I	I	
CARBOFURAN	I	I	I
METAMIDOFOS			I
ENDOSULFÁN	II	II	II
TERBUFOS	I	I	I
METOMILO	I		II
CLOPPIRIFOS		I	II
LAMDA CYALOTRINA		I	
CIPERMETRINA		I	
DIAZINON		II	I
PIRIMICARB			II
DIMETOATO			I
ETIÓN		I	I
PERMETRINA	II	II	
BENZOATO DE EMAMECTINA		II	
TEBUPIRIMIFOS		I	
IMIDACLOPRID	I		II
MALATION	I	II	
PYRACLOSTROBIN	II		
OXAMIL			I
DIURON	II	II	I
ACETOCLOR		II	I

Nivel de afectación I= Extremadamente tóxico
II=Altamente tóxico

Tabla 2. Nivel de toxicidad de herbicidas y pesticidas.

Análisis estadístico

En el análisis multivariado, de acuerdo a los eigenvalores para cada iteración, se obtuvieron cantidades arriba de 1 (≥ 5.4 en Jalisco, ≥ 4.61 en Michoacán y ≥ 5.3 en la subcuenca), lo que hace conveniente el análisis para determinar el porcentaje de varianza en todos los casos. En el sumario del modelo, el valor alfa de Cronbach, que representa una medida de la consistencia interna, obtuvo valores altos en la primera dimensión y en el total (mayor o igual a 0.7), lo que se considera “aceptable” en investigación relacionada a las ciencias sociales. Por lo tanto, estas son las que mejor explican las características de la información en todos los casos. El porcentaje de varianza acumulado en las primeras dimensiones presenta cantidades próximas o mayores al 40%, lo cual es un valor consistente con estudios donde se involucran este tipo de variables nominales.

La matriz de correlación de las variables transformadas contiene los coeficientes de correlación de Pearson. La magnitud y el signo del coeficiente determinan el grado y sentido de la relación entre las variables explicativas. En Jalisco, la correlación entre temporada y aplicación de herbicidas es la más alta positivamente (0.61), lo que significa que existen diferencias importantes en cuanto al empleo de agroquímicos dependiendo si es de riego o temporal. De igual manera, se presentan otras correlaciones significativas como edad con tipo de apoyo y temporada con plaguicidas que están inversamente relacionadas (-0.746 y -0.465, respectivamente), lo que diferencia en parte los lugares con más ingreso y el uso de estos compuestos químicos según la modalidad y la tradición de cultivo.

En el caso de Michoacán, se tienen correlaciones más bien bajas de manera positiva entre edad y número de hectáreas (0.393), lo que se debe interpretar de la siguiente manera: a mayor edad, más posesión de terrenos. La edad y la destino de la cosecha tienen la segunda correlación positiva más alta (0.392); esto tiene que ver con la actividad adicional que practican algunos productores como es la ganadería. De manera negativa se tiene la edad y el tipo de apoyo gubernamental (-0.593) y la venta con la aplicación de herbicidas, lo cual debe seguir cierta precaución dado que no se tuvieron suficientes elementos informativos en el estado de Michoacán. En la subcuenca, destaca en forma positiva la relación municipio y el tipo de venta (0.632); de modo negativo, la relación entre municipio y aplicación de plaguicidas (-0.671) y el municipio con aplicación de fertilizantes (-0.516).

La tabla del aporte de los componentes muestra las relaciones entre las variables y la dimensión de la solución (Tabla 3). Valores grandes (>0.5), en cada dimensión, indican que la variable está fuertemente asociada con la dimensión. La primera dimensión separa las variables, en el caso del estado de Jalisco, con valores positivos relativamente grandes: aplicación de herbicida y temporada de siembra, mientras que de manera negativa: aplicación de plaguicidas y tipo de venta. A este factor se le pue-

de denominar “desarrollo de la actividad”. La segunda dimensión se relaciona positivamente con la edad y negativamente con tipo de apoyo. Este factor puede ser mejor definido como “Características de los productores y apoyo”.

Variables	Jalisco		Michoacán	
	Dimensiones		Dimensiones	
	1	2	1	2
Edad	.021	.921	.643	-.681
Actividad Adicional	.383	-.392	.366	-.291
Apoyo de Gobierno	.373	-.323	-.257	-.575
Tipo de Apoyo	-.037	-.826	-.316	.537
Terreno Posesión	.291	-.083	.320	.585
Hectáreas	.580	-.195	.180	-.614
Temporada Siembra	.734	-.083	-.665	-.097
Semillas Compra	.312	-.063	-.585	-.038
Insumos Obtención	.543	-.173	-.061	-.082
Cosecha Destino	-.498	-.539	.739	-.058
Venta de Cosecha	-.578	-.219	.528	.318
Recomendación Plaguicidas	-.305	-.083	-.183	-.144
Herbicidas	.823	.035	-.659	-.212
Plaguicidas	-.637	.012	.467	.420
Fertilizantes	.668	.137	-.152	.583

Tabla 3. Aporte de las diferentes variables en las dimensiones para el estado de Jalisco y Michoacán.

En el caso de Michoacán, en la primera dimensión, las variables destino de la cosecha y edad tienen mayor peso y se impone al factor edad como determinante en el desarrollo de la actividad. Negativamente se tiene temporada y la aplicación de herbicidas. En el segundo factor denominado “Aplicación de agroquímicos”, tienen mayor importancia las variables: tipo de terreno y aplicación de fertilizantes de manera positiva y edad y apoyo de gobierno de forma negativa.

En la Figura 8 se destacan aquellos municipios que están más relacionados con alguna variable en el estado de Jalisco. Poncitlán se relaciona más a una actividad adicional y junto con Ocotlán a un mayor consumo de herbicidas y fertilizantes: sólo un encuestado mencionó que no utilizaba herbicidas. La mitad de las encuestas marca categorías donde hay combinación de varios productos químicos y es precisamente aquí donde se presentó el valor más alto en la subcuenca. Por su parte, Atotonilco y Jocotepec implementan más plaguicidas, principalmente en combinación,

y un tipo de venta dada más de manera informal o sin contrato. Tuxcueca se caracteriza por contener productores que en promedio poseen una menor edad y por su búsqueda de apoyos económicos, sin embargo, en lugares como Poncitlán y Tuxcueca dichos apoyos son combinados.

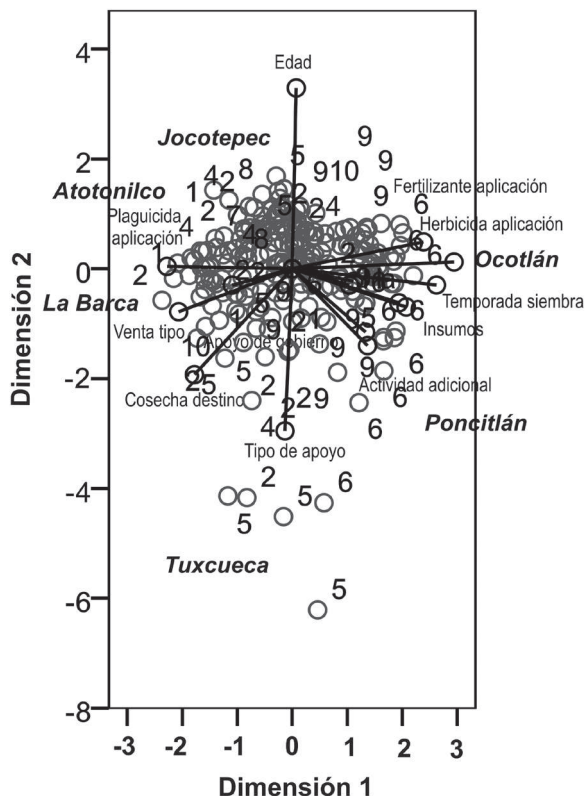


Figura 8. Representación de las dos primeras dimensiones del CATPCA en Jalisco.

En la Figura 9 destacan aquellos municipios que están más relacionados con alguna variable en el estado de Michoacán. En la primera dimensión, se separan los municipios de la ciénega (Sahuayo y Venustiano Carranza) de los de zona cerril (Cojumatlán y Marcos Castellanos), destacando la temporada de siembra como modalidad combinada (temporal y riego) y sólo temporal, respectivamente. Para Marcos Castellanos se tiene un mayor autoconsumo de la cosecha, lo cual está relacionado a una importante actividad ganadera. En Sahuayo, al igual que en Cojumatlán, se tiene más apoyo de programas de gobierno y particularmente el primer municipio es el que cuenta con una mayor combinación de los mismos. Por su parte, los productores más longevos se encuentran en Venustiano Carranza y se tiende más a la aplicación de plaguicidas y fertilizantes de manera combinada.

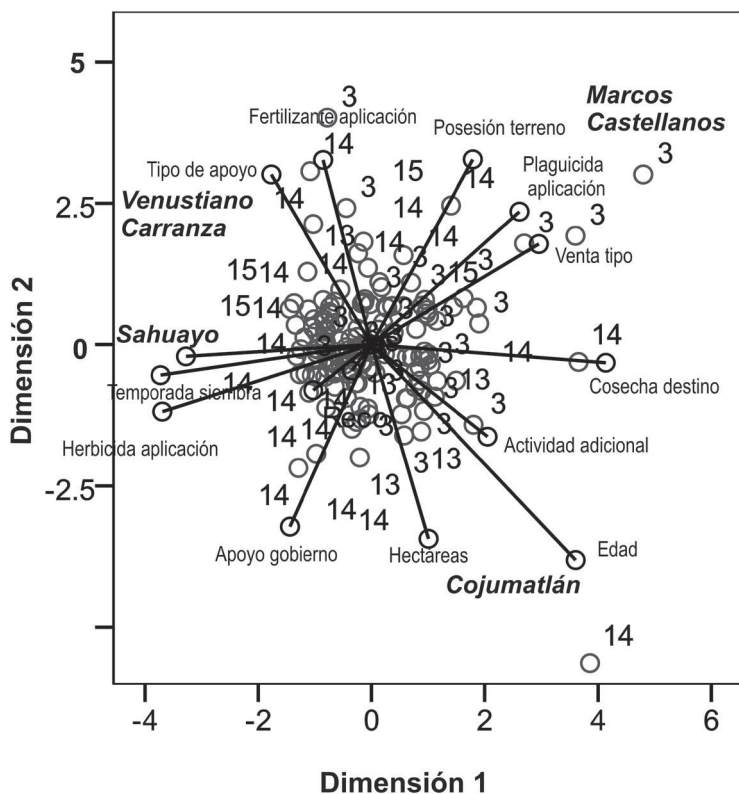


Figura 9. Representación de las dos primeras dimensiones del CATPCA en Michoacán.

Análisis y discusión

Características de la actividad productiva

A pesar de la predominante producción de granos en la región, en el caso de la zona de Jalisco también se cuenta con presencia de la cadena hortícola. Esta zona es la principal productora del cultivo de cebolla y jitomate (34% y 32% de la superficie cosechada estatal) y participa en primer lugar con las superficies cosechadas de los cultivos de cártamo (77%) y en tercero en importancia en la de avena forrajera (14%). Estos aspectos han hecho que los productores agrícolas en Jalisco se dediquen, en su mayoría, a esta actividad exclusivamente, mientras que en Michoacán tienen otras alternativas. Además de que el sector pecuario en Jalisco está más tecnificado.

Con respecto al trigo, Michoacán se encuentra entre los principales productores en México representando la mayor cobertura de este grano en la subcuenca: Ixtlán (1,100 ha), Briseñas (960 ha), Pajacuarán (755 ha) y Venustiano Carranza (715 ha).

Algunos reportes periodísticos han señalado que la producción de trigo en Michoacán ha decrecido al menos en 30% en los últimos años, debido a la constante importación de semillas estadounidenses que pese a que son de una calidad inferior a las nativas de Michoacán, representan un costo menor para los industriales (El Financiero, 29/03/2012). Además, el Comité Nacional del Sistema Producto Trigo ha indicado utilidades mínimas por los altos costos de producción, la baja calidad, la falta de apoyos económicos en créditos inoportunos e ineficientes, la falta de transferencia de tecnología, los altos costos en insumos y energéticos, y el excesivo intermediarismo, entre otros.

El valor elevado de la media en la edad de los agricultores en la región de estudio, refleja el poco reclutamiento en la actividad. Esto responde, en parte, a la baja eficiencia de los cultivos y, en consecuencia, a su cada vez menor rentabilidad. Los costos de producción, antes extremadamente bajos frente a los internacionales (dados los subsidios), hoy, por el contrario, se han elevado más allá de éstos (Fritscher, 2002). También se refleja en el amplio proceso de migración. La subcuenca se puede clasificar como región expulsora de población, situación que se acentúa en la ciénega michoacana. También es importante porque nos indica la resistencia potencial de los productores a implementar diferentes medidas que puedan coadyuvar al mejoramiento de la calidad ambiental.

De acuerdo a trabajos desarrollados para la región en lo referente al empleo de agroquímicos, los productores señalan que hace más de 20 años no se tenía su uso en las zonas de temporal, mientras que en las partes destinadas al riego su empleo comenzó aún antes (Sandoval-Moreno y Ochoa-Ocaña, 2010). Se anticipa el crecimiento de dicha situación, sin una asesoría técnica adecuada. Además, esto acarrea un costo importante en todo el proceso de la actividad, ya que para maíz y sorgo, el 49 % de los gastos se destina a agroquímicos, seguido de un 30 % de mantenimiento y 21% en mano de obra.

De igual manera, los agroquímicos se relacionan con la problemática de la pérdida de fertilidad de los suelos, que en la subcuenca se vincula con los municipios de Sahuayo, Cojumatlán de Régules, Venustiano Carranza, Villamar, Jiquilpan, Tizapán el Alto y Tuxcueca (Sotelo, 2005). Esto crea un círculo vicioso en el cual se debe incrementar la cantidad de agroquímicos para mantener la productividad, en lugar de atender elementos críticos como mejorar las prácticas de manejo, iniciativas para la restauración de los suelos y la reducción del uso de agroquímicos.

Dentro del listado de herbicidas y pesticidas reportados destaca la presencia de sustancias con efectos tóxicos de nivel II y III para la vida acuática (en especial plancton, peces y aves) lo que resulta preocupante dado que dichas sustancias son arrastradas por la lluvia al principal cuerpo de agua, el Lago Chapala, el cual cuenta con declaratoria como Sitio Ramsar (Humedal de Importancia Internacional) justamente por su papel como hábitat de peces (28 especies nativas) y aves (200 especies; Barba, et al,

2005; Juárez et al., 2006). Asimismo hay que considerar que un número importante de personas dependen de la pesca como actividad productiva, principalmente en los municipios de Cojumatlán, Ocotlán, Poncitlán y Chapala.

Dentro de los herbicidas más empleados, se tiene el paraquat con una categoría toxicológica II (producto moderadamente peligroso, nocivo). Esto es importante considerarlo porque es altamente persistente, con vida media estimada de 1,000 días, aunque su degradación es rápida (INE, 2013). La atrazina con categoría toxicológica IV (productos que normalmente no ofrecen peligro), en términos generales es poco persistente, mas representa un riesgo elevado de contaminación para las aguas subterráneas por su larga vida media (INE, 2013).

En el caso de los plaguicidas, se emplean principalmente el clorpirifos etil con categoría toxicológica III (producto poco peligroso, cuidado). Este implica un grave riesgo para la vida silvestre, al ser extremadamente tóxico para peces e invertebrados acuáticos. En la descendencia de animales expuestos, produce malformaciones y disminución de la sobrevivencia, crecimiento, reproducción y producción de biomasa, siendo especialmente afectadas las poblaciones de larvas de artrópodos y moluscos. En ecosistemas acuáticos reduce la diversidad y abundancia de especies (INE, 2013).

Otro es el paratión metílico con una categoría toxicológica I (producto muy peligroso, tóxico). Dicho compuesto, en peces y zooplancton, tiene una toxicidad de ligera a extremadamente alta. Según el INE (2013): “en aguas contaminadas puede reducir el crecimiento de las algas, aunque algunas especies pueden generar resistencia después de varias semanas de exposición. Los efectos de este plaguicida sobre las poblaciones de animales son poco probables en el campo. Sin embargo, pueden presentarse cuando se aplica a concentraciones elevadas”.

Algo sobresaliente es el uso del aldrín que, en varios países desde comienzos de la década de 1970, se ha limitado o prohibido su uso en la agricultura (FAO/OMS, 1995). El aldrín se convierte rápidamente en dieldrín en la mayoría de las condiciones ambientales y en el organismo. El dieldrín es un compuesto organoclorado muy persistente, con movilidad en el suelo baja, volátil y bioacumulable. Ambos compuestos son muy tóxicos en animales de experimentación, y se han dado casos de envenenamiento en personas. Los órganos afectados son el sistema nervioso central y el hígado (OMS, 2003).

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados muestran una gran cantidad de unidades de producción en superficies reducidas con poca organización entre los productores, reflejada generalmente en una compra individual de insumos y venta de cosechas de manera informal. Esta falta de organización promueve un uso diferencial y en algunos casos indiscriminado de agroquímicos por entidad estatal y municipal.

En Jalisco se procuran más apoyos y, principalmente, se accede a ellos de manera simultánea. En la parte del cultivo de riego se busca la adquisición de recursos e insumos a través de asociaciones. Dadas las características del terreno en Michoacán, sobre todo la parte de la ciénega, se emplean los terrenos con ambas modalidades (temporal y riego). También en este estado los productores realizan actividades adicionales, tanto combinando la agricultura y la ganadería, como otros empleos fuera del ámbito agropecuario.

Diferentes autores coinciden que a pesar de la intervención de las instancias gubernamentales, como los proyectos de la SEMARNAT en relación con el manejo eficiente de las labores agrícolas en la Ciénega de Chapala, los mismos han tenido poco impacto. Esto se debe a que demandan la participación económica de los agricultores, que no cuentan con el capital necesario para ello, además de que las recomendaciones emitidas son demasiado generales y presentan problemas en el momento de su aplicación (Bohem, 2002; Escobar, 2006).

El Grupo de Seguimiento y Evaluación del Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago, ha propuesto una búsqueda de alternativas para evitar que los recursos hídricos se sigan sobreexplotando. Entre las principales iniciativas está la implementación de sistemas de producción y rotación de cultivos que no impliquen una mayor demanda de agua, disminuir el consumo de energéticos, y la aplicación de cultivos orgánicos (Juhász, 2002).

Literatura Citada

Barba C. G., L.M. Güitrón., R.M.A. Macias y S.C. Barrera. 2005. Aves y Vegetación. En: Orozco, M.G. y V.J. García. (Compiladores). Diagnóstico Ambiental del Lago de Chapala. ISBN: 970- 27- 0835- 4, Universidad de Guadalajara, México.

Bohem S., B. 2002. Ciudadinos y campesinos en el Consejo de Cuenca Directa del lago de Chapala. En: B. Bohem S. y otros (coords.), II Encuentro de Investigadores del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago, Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades- Universidad de Guadalajara/El Colegio de Michoacán.

Castañeda, C. 2005. Reseña de González Ruvalcaba, Francisco. Geografía del Territorio del lago de Chapala. Relaciones 103, XXVI: 265-268.

Carbajal T., I. E. y N. Y. Chávez R. 2006. Estructura económica y social de la región ciénega de Chapala, Michoacán. Tesis profesional, Escuela de Economía, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero ciénega de Chapala, estado de Jalisco. Gerencia de Aguas Subterráneas.

Covarrubias-Villa, F., M. G. Cruz Navarro y A. Ojeda Sampson. 2008. El paisaje prehispánico de la ciénega de Chapala. Tecsisecat1 1(4):

Chávez-Alcántar, A., M. Velázquez-Machuca, J. L. Pimentel-Equihua, J. Venegas-González, J. L. Montañez-Soto y G. Vázquez-Gálvez. 2011. Hidroquímica de las aguas superficiales de la ciénega de Chapala e índice de calidad de agua. Terra Latinoamericana, 29(1):83-94.

De Liñan, C. (2011). Vademecum de agroquímicos de Mexico . México, D. F.: Editorial Tecnoagrícola de México, S. A. de C. V.

Escobar, B. 2006. La cuenca Lerma-Chapala, el agua de la discordia. Gestión y Política Pública, XV (2): 369-392.

FAO/OMS. 1995. Pesticide residues in food - 1994. Reunión conjunta del Cuadro de expertos de la FAO en residuos de plaguicidas en los alimentos y el medio ambiente y el Grupo de evaluación toxicológica básica de la OMS sobre residuos de plaguicidas. Roma (Italia), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Estudio FAO: producción y protección vegetal n.º 127).

Fritscher, M. 2002. Del estatismo al libre comercio: los dilemas del sector agrícola en México. Estudios Sociedade e Agricultura, 19:146-171

INE (Instituto Nacional de Ecología). 2013. Sistema de consulta de Plaguicidas. [En línea] Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/paraquat.pdf> [Último acceso: 12 de Enero de 2013].



Juárez, A., R. Velázquez, M. Váldez, O. Baez, C. Duifhuis, A. Díaz. 2006. "Programa de Conservación y Manejo del Parque La Eucalera del Paso de Hidalgo, municipio de Briseñas de Matamoros". Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Ayuntamiento de Briseñas/Corazón de la Tierra, A.C. 117 páginas



Juhasz, M. 2002. Cambio tecnológico y agricultura sustentable en la Ciénega de Chapala. En: B. Bohem S. y otros (coords.), II Encuentro de Investigadores del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago, Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades- Universidad de Guadalajara/El Colegio de Michoacán.



Linting, M. y A. van der Kooij. 2012. Nonlinear principal components analysis with CATPCA: A tutorial. *Journal of Personality Assessment*, 94(1):12-25.



Linting, M., J. J. Meulman, P. J. F. Groenen, A. van der Kooij. 2007. Nonlinear principal components analysis: Introduction and application. *Psychological Methods*, 12(3):336-358.



Ochoa, S., J. T. Silva, J. A. Ramos y S. Lopez. 2001. La calidad química de las aguas subterráneas en la cienéga de Chapala: un obstáculo para su desarrollo. En XI Congreso Nacional de Irrigación, 29 October-3 Noviembre 2001, Guanajuato, México (Unión Geofísica Mexicana).



OMS, 2003. Aldrin and dieldrin in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/73).



Rojas Soriano, R. 1987. Guía para realizar investigaciones sociales. Plaza y Valdés Editores. México, México. 437 pp.



SIAP, 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Resumen Nacional por Estado. [En línea] Disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=347 [Último acceso: 1 Mayo 2013].



Sotelo, I. 2005. Acciones estratégicas para la recuperación de la cuenca Lerma-Chapala: Recomendaciones técnicas del INE por subcuenca. En Cotler, H., M. Mazari y J. de Ánda (edts.). Atlas de la cuenca Lerma-Chapala construyendo una visión conjunta. Instituto Nacional de Ecología, México.



CAPÍTULO 5.-

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA SUBCUENCA CHAPALA

Adalberto Díaz-Vera (1), Francisco Quintero Miranda (1), Edgar Isaac Ramírez Lindoro (1), René Velázquez Moreno (2), Alejandro Juárez Aguilar (2),

(1) Especialista privado

(2) Corazón de la Tierra-Instituto de Desarrollo Ambiental, Ramón Castañeda 979, Col. Miraflores, Guadalajara, México. 52+3338251361 y 52+3389951200 tecnicact@gmail.com

Resumen

A partir de datos cartográficos de INEGI, ortofotos y análisis infrarrojo de imágenes satelitales (*Landsat* y *Quickbird Bundle*) se construyó un conjunto de capas de información que muestran el tipo de suelo, hidrografía, tipos de vegetación, humedad del suelo y otras características del territorio de la subcuenca Chapala, con un total de 3,312.63 km² (incluyendo la superficie del Lago de Chapala). Dicha información se transformó en un conjunto de mapas de alta calidad, que facilitan entender el funcionamiento del sistema cuenca-lago, los efectos de las actividades humanas, los riesgos derivados de las mismas y las áreas críticas en términos de conservación y restauración.

Un mapa especialmente importante es el de cobertura de vegetación, construido a través de análisis infrarrojo (mediante el sistema Explorafor) de imágenes satelitales, complementado con muestreos de campo. A partir de esta técnica pudo identificarse con gran precisión las zonas de cultivo y diferentes tipos de vegetación nativa. Este mapa, lo mismo que los restantes, forman parte de las capas de datos del Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual puede ampliarse para integrar nuevas capas de información como resultado de proyectos posteriores.

Palabras clave: Sistema de Información Geográfica (SIG), Explorafor, análisis infrarrojo, cuenca, mapas temáticos.

Introducción

El *Sistema de Información Geográfica (SIG)* es una herramienta poderosa para un proyecto de manejo del territorio, ya que las decisiones que se toman pueden realizarse con base en el uso de datos geoespaciales por la visión integral que ofrecen en la presentación del territorio, de sus características físicas y elementos humanos, además de que tiene la capacidad de integrar datos de diverso tipo (históricos, estadísticos, administrativos o políticos), que sirven como base para agregar los resultados de la investigación y obtener así una visión del conjunto. Con los elementos concentrados en un proyecto de SIG se hacen modelajes y estudios de tendencias estableciendo modelos de análisis y predicción, los cuales se ejecutan en diversas aplicaciones proyectivas como el *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*. Esto se vuelve importante cuando los resultados deben hacerse del conocimiento de los responsables institucionales involucrados como los tres niveles de gobierno, agrupaciones públicas y privadas y todos aquellos que puedan fungir como tomadores de decisiones o terceros interesados. Esto implica que la información presentada debe ser sencilla, consistente y clara, pues su público es sumamente variado.

Finalmente, los datos que se generan pueden ser empleados para

posteriores investigaciones, tanto para abundar en la información de la zona de estudio como para detectar necesidades y posibles cambios.

El procedimiento de integración involucra una sistematización de la información desde su recopilación en campo y en diversos lugares de consulta, con lo que se obtiene un paquete inicial de información geoespacial que se deposita en el recipiente informático denominado *Sistema de Información Geográfica (SIG)* del proyecto (Heywood et al, 1998). Esta información habitualmente se integra en el SIG en un marco previo que se construye con base en datos recopilados desde orígenes diversos, incluso algunos muy antiguos. Es necesario investigar si existe información geoespacial previa del área determinada, generada por dependencias oficiales, estudios anteriores o mediciones diversas, la cual debe pasar por varios filtros de actualización, validación, estandarización, digitalización y georreferencia (colocación de los elementos en una posición única sobre la superficie terrestre) y diversos procesos de recálculo y controles de calidad antes de ser considerada adecuada para su empleo como capas de información válidas dentro de un proyecto en específico. Es preciso también hacer validaciones de tipo legal u oficial, como en el presente proyecto para el caso de la integración de los perímetros políticos y geoestadísticos de los Estados de Jalisco y Michoacán de Ocampo y de los diversos municipios participantes, así como de un perímetro del lago que permita su estudio como un ente espacial único. Esto es imprescindible si se considera que cada fuente consultada de índole federal, estatal o municipal, maneja diversos límites para el lago y para los perímetros municipales que presentan diferencias entre sí: en ocasiones no existe un consenso único.

Antecedentes

Siendo el Lago Chapala una zona prioritaria para el país, para los estados de la cuenca Lerma-Chapala, para las zonas de la subcuenca propia agrícolas y urbanas y en especial para la ciudad de Guadalajara, se han efectuado estudios previos en diversos temas: medioambientales, sociales, de importancia económica y geoespaciales, entre otros.

Con respecto al tema geoespacial se puede suponer que fueron los primeros estudios que se aplicaron al lago, es decir, su descripción cartográfica se conoce desde por lo menos el siglo XVI; se ubican sus primeras representaciones en planos de la Nueva Galicia donde se mostraba su posición y forma aproximada como se aprecia en la Figura 1 (García R., 2006), pasando por diversos planos históricos como el presentado en la Figura 2 datado en 1815 (RAH, 2012), hasta las imágenes informáticas actuales y de satélite (Figura 3).



Figura 1. Mapa de la Nueva Galicia, Atlas de Johannes Janssonio y Guiljelmus Blaeuw (siglo XVI).

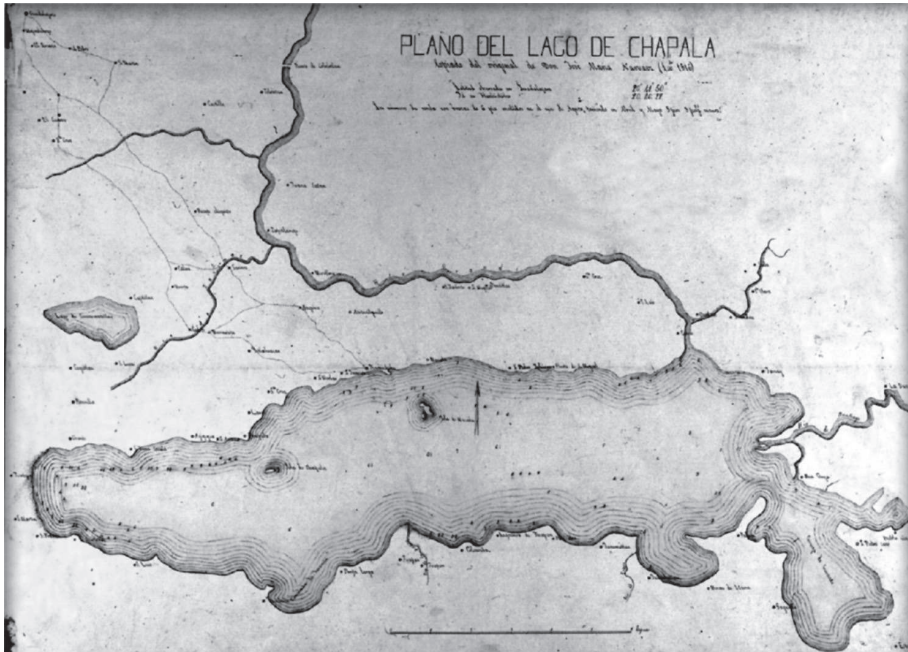


Figura 2. Plano de Chapala con fecha de diciembre de 1816, por José Ma. Narváez.



Figura 3. Imagen Landsat TM de enero de 2011.

Puede notarse que el Lago de Chapala ha sido objeto de diversos estudios geográficos y topográficos que tienen por objeto medir su posición, extensión superficial y límites físicos; su altitud y altura de las aguas y su volumen, todo lo cual depende fundamentalmente de datos geoespaciales, pues el entorno geográfico cambia, siendo por lo tanto recomendable una frecuencia alta en la temporalidad de su adquisición. Esto habitualmente no sucede así. En este proyecto los datos recabados tienen diversas temporalidades, desde muy antiguas hasta menos de un año, por lo que éstos se manejaron adecuadamente ponderando su antigüedad.

El perímetro y volumen del lago está ligado intrínsecamente con su cota o altura, la que se basa en estudios previos del ingeniero Luis P. Ballesteros en 1910, quien asignó la cota arbitraria 100 m a un banco de nivel situado a la entrada de Ocotlán, en el puente de Cuitzeo, municipio de Poncitlán. Según el cálculo de Ballesteros, dicho punto equivalía a la cota altimétrica 1526.80 m sobre el nivel del mar. Después de un ajuste efectuado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1981), la cota se ajustó a 1526.0 m. Con ésta, la altura del lago al 100% de su capacidad quedó establecida en 97.80 m, equivalente a la cota 1523.80. (Montenegro, 2012). Estudios posteriores efectuados por el autor de este capítulo por medios satelitales de GPS y con base en el GGM 06, manifestaron una cota altimétrica de 1523.51 para la cota 97.80.

Materiales y métodos

En este sentido, el primer paso para la generación del SIG del presente proyecto consistió en establecer el marco geográfico inicial con base en información vectorial, digitalizada y *raster* (mapa de malla de puntos o píxeles), considerando como fuente original la generada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), tomando de éste como base cartográfica la información vectorial de las cartas topográficas escala 1:50,000 correspondientes a la zona de estudio, según la Tabla 1 y Figura 5.

Número	CLAVE
1	F13D75
2	F13D76
3	F13D77
4	F13D78
5	F13D85
6	F13D86
7	F13D87
8	F13D88
9	E13B15
10	E13B16
11	E13B17
12	E13B18

Tabla 1. Cartas topográficas empleadas en el proyecto.

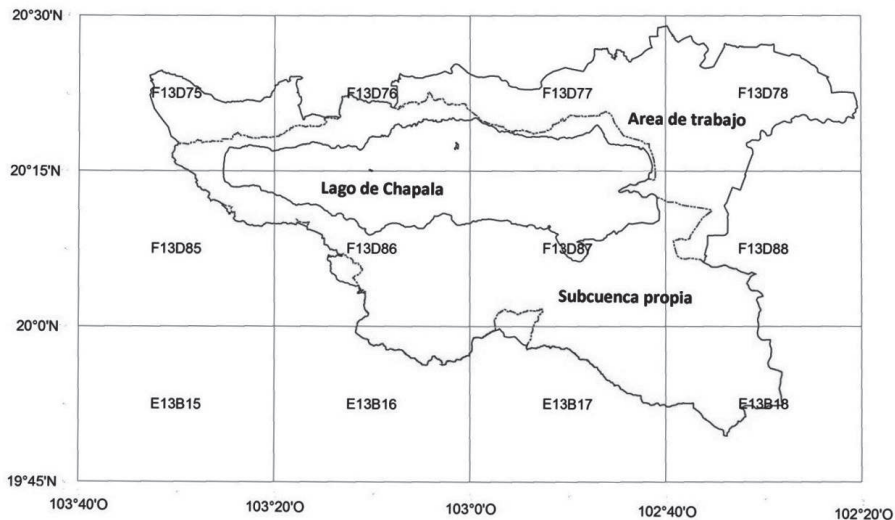


Figura 5. Distribución espacial de las cartas topográficas en el área de estudio.

Sobre este marco se integró la información de las diversas dependencias y organismos involucrados en el presente estudio y en diversos proyectos anteriores sobre el lago y la zona central de Jalisco y nor-noroeste de Michoacán de Ocampo.

Adicionalmente, se contó con la información raster de la región captada por el satélite *Landsat TM* de enero de 2011, la cual después de su debido proceso se empleó en la definición de coberturas, superficies y rasgos distintivos del terreno. Cabe aclarar que la información geoespacial se debió georreferenciar en un marco de referencia geodésica tanto horizontal, conocida como *datum*, como vertical, conocida como modelo geoidal; el primero fue el *Marco Internacional de Referencia Terrestre 1992 (ITRF 92 por sus siglas en inglés) época 1988.0*, establecido por el *International Earth Rotation and Reference System Service (IERS)* (Boucher et al, 1992) y adoptado por el INEGI como Norma Oficial Mexicana (DOF, 1985 modificada en 1998). La NOM fue actualizada en el Diario Oficial en 2010 al *datum ITRF 08 época 2010 (DOF, 2010)*; considerando en los hechos que la diferencia entre ambos sistemas es prácticamente nula para un estudio regional y que la información básica de la cartografía de INEGI, de las mediciones GPS y de las fuentes raster satelitales se encontraba en el *datum 1992*, se eligió éste para integrar el proyecto. El *datum* base del GPS es el *World Geodetic System 1984 (WGS 84)*, pero de manera conceptual el WGS 84 es equivalente al ITRF 92 (INEGI, 1994), por lo que las mediciones con este equipo se integran de manera natural al proyecto.

Así también, en conjunto con el datum se debe definir una proyección para la creación de planos, donde se expresan las unidades de coordenadas que se van a emplear; en este caso, la proyección usual para un proyecto regional de mediano tamaño como este es la Universal Transversa de Mercator (UTM), cuyas unidades de medida son metros, y se expresan en valores de X y Y. La zona o franja UTM correspondiente al área de estudio es la 13 Norte (Mena, 2007).

El segundo marco de referencia fue el definido para el control vertical o valor Z; se seleccionó el modelo geoidal Geoide Gravimétrico Mexicano 2006 (GGM 06), que está ligado a la Red Geodésica Vertical (RGV) perteneciente a la cartografía vectorial del INEGI (Ávalos et al, 2006); esta referencia se denomina altura ortométrica y se basa en el nivel medio del mar, y aunque las lecturas tomadas en campo con equipo GPS en los sitios de muestreo entregan alturas elipsoidales en WGS 84, se convirtieron a ortométricas por medio del proceso en GGM 06; esto se determinó para efectos de que no existieran diferencias verticales notables.

TIPO DE COORDENADA	MARCO DE REFERENCIA	NOMBRE
Horizontal (X, Y)	Datum - Proyección	ITRF 92 (WGS 84) - UTM zona 13 N
Vertical (Z)	Modelo geoidal	GGM 06

Tabla 2. Marcos de referencia del SIG.

En suma, el procedimiento de generación de SIG debió ser unificado para que los diversos equipos de trabajo tuvieran un estándar de referencia geoespacial donde se produjera, calculara y extrajera información compatible entre sí en el sentido geográfico. La integración de datos geoespaciales en el SIG se ejecutó a través de la determinación de tres elementos básicos: a) El contenido de información requerido para el proyecto, b) El recipiente informático donde se depositaría la información (SIG), cuya parte inicial es el *mapa base*, y c) e procedimiento y tareas de manejo e integración para producir un resultado cartográfico con una base de datos geoespacial adecuada al objeto del proyecto. Los productos requeridos y resultantes del sistema de información debieron cubrir una serie de requisitos de calidad y estandarización para que pudieran ser empleados como base en diversas etapas del proyecto (ESRI, 1990).

El contenido de información que se agregó al mapa base se hizo considerando el área de trabajo definida por tres perímetros superpuestos: el área que comprende el territorio de los trece municipios participantes en el proyecto, el área del estudio definida por el perímetro de la subcuenca Chapala y el límite del Lago de Chapala. Estos perímetros son complementarios entre sí, según se aprecia en el mapa base (ver Sección de Mapas).

Los perímetros de los trece municipios difieren, según diversas fuentes consultadas. En este proyecto se emplearon los publicados en el Marco Geoestadístico Municipal 2005 (INEGI, 2010), los cuales fueron complementados con los datos de perímetros estatales según el Mapa General de Jalisco 2012 (Periódico Oficial del Estado de Jalisco, 2012). La información del perímetro de la subcuenca Chapala se obtuvo de la publicación de la SEMARNAT (DOF, 2003) y de su plano descriptivo Zona Hidrológica Río Lerma-Chapala 12a, en particular la Cuenca Río Lerma 7, Subcuencas RH12Da y RH12Db, que contienen el perímetro de la subcuenca propia del lago, es decir, son los parteaguas de donde se vierten las aguas pluviales directamente al vaso lacustre (Cotler et al, 2006). Esta información se complementó con la consultada en la Dirección Regional Lerma-Chapala-Santiago de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

El perímetro del Lago de Chapala se consultó también en la información de la CONAGUA, aunque a partir de la información satelital Landsat TM se generó, por medios informáticos de percepción remota, un perímetro basado en el cubrimiento del espejo de agua en el mes de enero de 2011, el cual se integró en el mapa base. Dicho perímetro encierra una superficie coincidente en forma y distribución a la definida como Cota 97.80, la oficial para el lago según se mencionó en el tema anterior, apreciándose sobre todo el cubrimiento de la zona oriental, la cual en los últimos años había permanecido descubierta y que en la fecha referida se encontró cubierta por el agua. Los perímetros descritos se integraron en el mapa base, el cual contenía ya la información de las cartas topográficas vectoriales escala 1:50,000 del INEGI: curvas de nivel, vías de comunicación, hidrología,

zonas urbanas, rasgos culturales, etcétera. El procedimiento de trabajo para la integración de estas últimas consistió en reunir en un solo bloque los datos de las doce cartas topográficas mencionadas en la Tabla 1 y Figura 1 de este capítulo, las cuales están divididas en varios archivos que corresponden a diversos contenidos. La información vectorial en algunas cartas topográficas es muy antigua en términos cartográficos, datan de 20 años o más, inclusive.

Las cartas se publican en los formatos estándar DXF del programa Autocad de la compañía Autodesk y en el SHP del programa ArcGIS de la compañía ESRI. La información tiene ligeras variaciones de forma entre los dos tipos, por ejemplo el formato DXF acepta diversos contenidos geométricos y topológicos en un mismo archivo, mientras que el SHP sólo puede contener los tipos de contenido por archivo según la Tabla 2. Éste último es el estándar que se emplea para el manejo de datos de SIG porque tiene la facilidad de aceptar todo tipo de datos externos, como datos estadísticos, bases de datos y archivos de texto, y es muy flexible en cuanto a su empleo en modelaje, georreferencia y diversas herramientas de análisis y conversión (ESRI, 1990).

TIPO DE ARCHIVO SHP	CONTENIDO Y USO
Punto	Elementos puntuales: objetos pequeños, lugares específicos de muestreo o señalización de sitios.
Línea	Elementos lineales: ríos y escurrimientos, vías de comunicación, líneas de conducción, linderos, curvas de nivel, líneas de tendencia.
Polígono	Elementos con superficie: área de trabajo, de estudio, cuerpos de agua, municipios, zonas especiales.
Texto	Toponimia (nombres geográficos)

Tabla 3. Contenido de los archivos SHP por tipo.

En una segunda etapa, se integró la información temática publicada por INEGI y por el Instituto Nacional de Ecología (INE) en cartografía vectorial en escalas más reducidas, como 1:250,000 o 1:1,000,000. Los temas que se manejan son geología, edafología, precipitación y evapotranspiración, humedad del suelo, temperatura media, unidades climáticas, uso del suelo y vegetación (1996), y uso potencial del suelo (escala 1:50,000 edición 1974 y escala 1:250,000 edición 1984). La información en estas escalas se publica en la proyección Cónica Conforme de Lambert (CCL), y se convirtió a UTM por medio de los algoritmos correspondientes.

Una vez que se formó el bloque de información vectorial a 1:50,000, se prosiguió a generar un TIN (*triangulated irregular network*) para representar la morfología de la superficie mediante una red irregular de triángulos, con la utilización de los datos de elevación del terreno (curvas de

nivel y puntos acotados). El TIN funciona como una superficie con aspecto tridimensional, con lo que la interpretación del relieve se vuelve más clara que con las curvas.

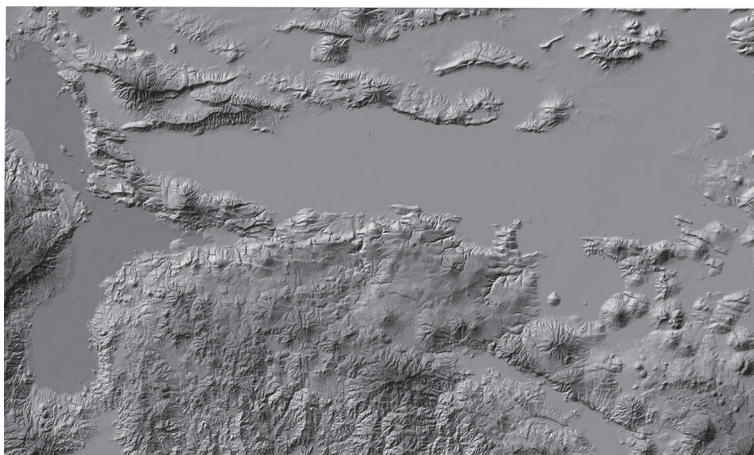


Figura 6. Modelo digital en formato TIN.

Por otro lado, también se obtuvieron datos del programa Explorafor de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el cual produjo información del cubrimiento físico del área a través del análisis infrarrojo de imágenes satelitales. El trabajo se realizó en tres etapas: la primera consistió en probar el programa en la zona, ya que éste fue desarrollado en un ecosistema diferente, principalmente en bosques de Pino y Encino. Debido a esto, en una primera instancia se utilizó un mosaico de imágenes satelitales Landsat7, con las bandas 1, 2 y 3 (Azul, Verde y Rojo) y con una resolución espacial de 30 metros por pixel. (Figura 7). Una segunda etapa consistió en una clasificación no supervisada de un mosaico de imágenes QuickBird Bundle con una resolución espacial de 2 metros por pixel. (Figura 8). Finalmente, en una tercera etapa se hizo una clasificación supervisada.

Para la realización de todos los trabajos se utilizó un diferente software para cada una de las etapas:

1. El ExploraFor permite la clasificación de estratos a partir del color y de la textura en las imágenes.
2. El Erdas® ER Viewer® 2011 versión 11.0, se utiliza para la preparación inicial de las imágenes haciendo los cortes correspondientes de cada una de las imágenes satelitales Landsat7 y para poder integrar el mosaico (Figura 9).
3. El ArcMap® de ESRI®, empleado para el manejo de la información vectorial generada en los programas anteriores.

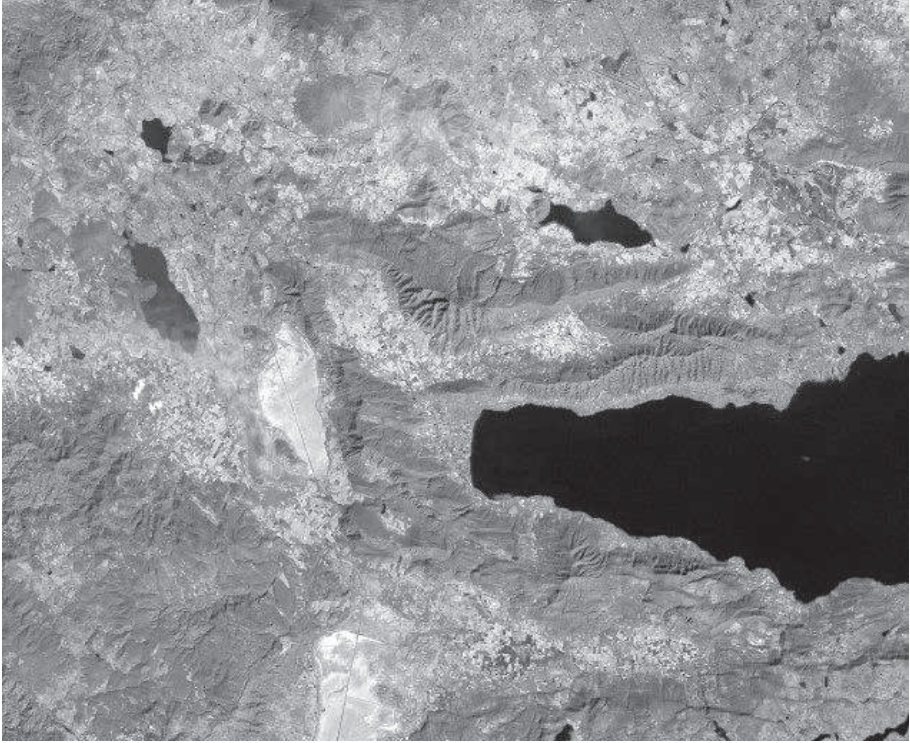


Figura 7.- Imagen Landsat7 (porción suroeste de la subcuenca Chapala).



Figura 8.- Imagen QuickBird Bundle (Cerro de la Cruz, Ocotlán)

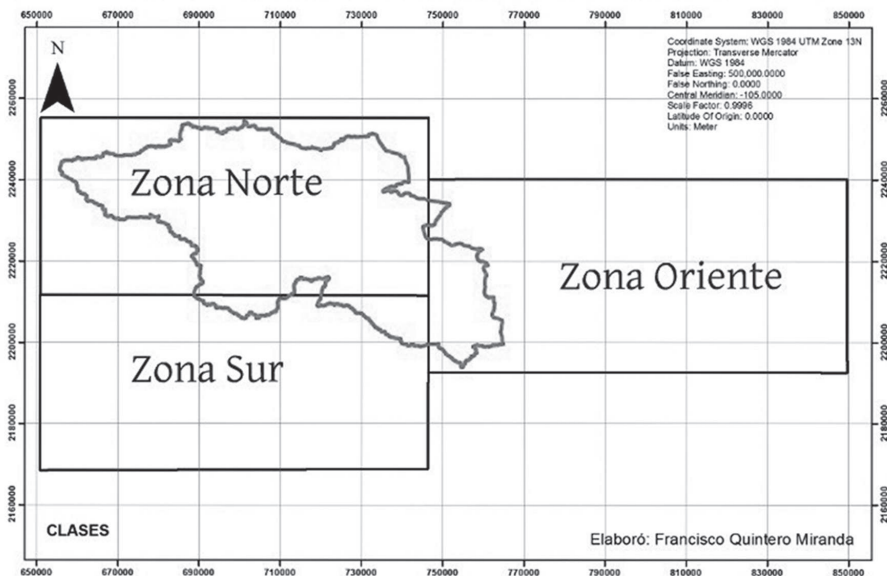


Figura 9. Corte de imágenes satelitales.

Una vez determinadas las clases y definidos los algoritmos de clasificación, se procedió a la clasificación de imágenes. Como se mencionó, la segunda etapa se realizó a partir del análisis de imágenes QuickBird Bundle, que sirvió básicamente para identificar grandes tipos de cobertura que fueron después ajustados a través de visitas de campo, con el fin de discriminar a nivel más fino las lecturas infrarrojas. Una vez clasificadas, las imágenes se exportaron al software vectorizador en donde las imágenes raster se convirtieron en información vectorial (polígonos) en formato .shp nativo de ESRI®.

El siguiente paso fue el procesamiento de la información en el SIG para la extrapolar los datos utilizando un mapa de sitios de respuesta homogénea, generado a partir de variables como altimetría, pendientes, exposición, geomorfología y clima. Finalmente, se reclasificaron las zonas utilizando información del mapa de sitios de respuesta homogénea y a una validación en campo de 73 sitios de muestreo, ubicando en el centro de los polígonos de cada tipo de cobertura vegetal identificado, en por lo menos dos sitios de respuesta homogénea. Esta verificación permitió validar lo obtenido por el sistema, determinar el tipo de comunidad vegetal establecido por cada clase y finalmente corregir los algoritmos de clasificación. Con lo anterior, se pudo correr el sistema ExploraFor con datos reales y reclasificar aquellos polígonos que en un inicio no se pudieron determinar.

De tal manera, una vez que se tuvo la información de las dos fuentes –vectoriales de INEGI y cobertura de Explorafor–, se realizó un análisis

comparativo de la información recabada y plasmada en los mapas generados para así revisar qué tanto ha cambiado el área de trabajo dentro de lo que engloba su geografía en un determinado rango de años, tomando en consideración que mucha de la información temática de INEGI es mayor a 5 años y escalada a 1:250,000 o a 1:1,000,000, y usada en Explorafor de 2 años y su escala es mucho mayor, cerca de 1:50,000. La antigüedad de los datos no es sustancial para el tema edafológico o geológico, pero sí lo es para los datos de uso actual del suelo o de recursos hídricos.

Posteriormente se utilizó el conjunto de curvas de nivel para generar un Modelo Digital de Elevación (MDE), producto similar al TIN, cuya función es mayormente para cálculo de datos, el que se utilizó para crear un mapa de pendientes del terreno donde identificar las zonas de cultivo de ladera o ecuaros.

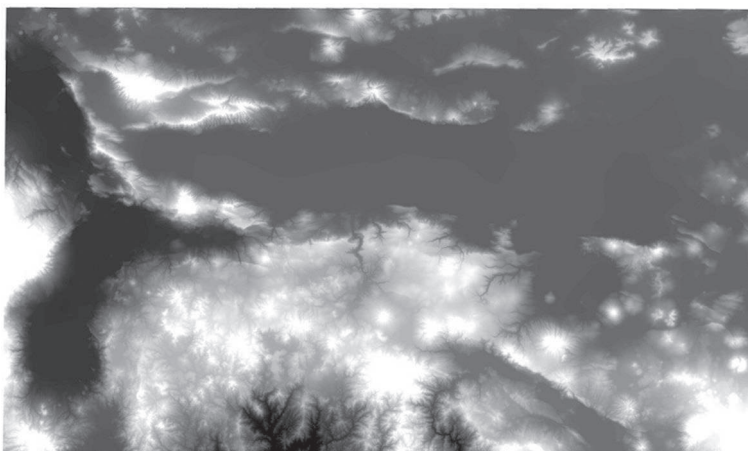


Figura10. Modelo digital de elevación (MDE) en formato raster. Cada grado de gris representa su elevación o valor Z.

Resultados

Los productos que se generaron con el SIG del proyecto se dividen en dos rubros de manera general, ambos ligados intrínsecamente. La primera son los archivos digitales con la información básica y temática resultantes del proceso de integración, y la segunda son los planos básicos y temáticos organizados para su publicación y difusión. Se puede considerar como un tercer ítem los datos numéricos y gráficos que surgieron de consultas específicas, como cantidades, distancias, superficies, relaciones espaciales y otros que sirvieron como apoyo en su momento en el manejo de los temas de investigación de las distintas áreas del proyecto, como el proceso SWAT y Explorafor, además de información de actualización de diversas cartas temáticas del INEGI y de perímetros de la CONAGUA.

Los archivos digitales se generaron en el formato estándar SHP con sus correspondientes archivos de soporte, descrito en el tema an-

terior, como base de datos y referencia geográfica, la cual es ITRF 92 en proyección UTM zona 13 N para la posición horizontal y GGM 06 para la vertical. Se integran en paquetes temáticos dependientes de los datos contenidos en cada uno, siendo el mapa base la referencia permanente en todos ellos.

Mapa base

El contenido del mapa base, como se puede ver en la Sección de Mapas, incluye los datos del perímetro del área de estudio que contiene los perímetros conjuntados de los trece municipios integrantes del proyecto, el de la subcuenca propia y el del espejo de agua del lago.

Contiene además las siguientes clasificaciones: carreteras principales, carreteras secundarias, cuerpos de agua, corrientes permanentes, vías férreas, municipios individuales del proyecto con sus cabeceras municipales y las localidades con más de 500 habitantes. En el mismo, se presenta como fondo el TIN que representa la información altimétrica de relieve del terreno. Cabe aclarar que la información de la cartografía INEGI que se empleó tiene diversos grados de actualización, como se mencionó en el tema anterior, por lo que es posible que algunos elementos presentados hayan sido modificados o que exista alguna diferencia de reajuste; esto es muy notable en las manchas urbanas presentadas, las cuales es más probable que hayan cambiado sustancialmente con respecto a la fuente empleada.

Mapas temáticos

Los paquetes de información temática se clasifican en mapa geológico, mapa edafológico, mapa de uso de suelo y vegetación y mapa de humedad del suelo, presentados en la sección de mapas. Tomando en cuenta la completud del proyecto, se agregaron varios mapas temáticos complementarios, así como diversos mapas de variables climáticas y de ubicación de estaciones meteorológicas, de cuerpos de agua y corrientes y el mapa de uso potencial del suelo y vegetación. La información para la generación de algunos de ellos fue obtenida de las cartas digitales correspondientes publicada en formato raster, por lo que fue necesario ejecutar un procedimiento de digitalización, clasificación y georreferencia, con el objeto de generar información vectorial adaptable al área de trabajo; la de los demás se generó con base en los datos del INEGI, INE y diversas fuentes públicas y privadas.

Por otro lado, también se investigó información batimétrica para elaborar el mapa de relieve subacuático del Lago de Chapala, tomado de la cartografía publicada por la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA Jalisco, 2000). Se generaron también los mapas de batimetría histórica del

lago de 1929 y 1981 (Sandoval, 1994), aunque no se contó con información vectorial por lo que los datos se presentan de manera reservada.

Mapas con datos de la investigación

También se produjeron varios mapas de información puntual con la ubicación de las trampas de sedimentos presentados en el mapa de muestreos de suelo, y la posición de los puntos de muestreo de agua. Se generaron también los mapas temáticos relativos a la ubicación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), el mapa de ubicación de gasolineras, basureros, rastros, granjas porcícolas y de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) –se debe tomar en cuenta que los registros de gobierno para estos casos no están completos, por lo que se presentan los datos que se pudieron verificar– además del mapa de ubicación de estaciones de monitoreo de calidad de la CONAGUA.

Mapas y datos complementarios

Un producto relevante de este proyecto es la actualización del perímetro del lago, creado por métodos satelitales de percepción remota a partir de los datos satelitales de Landsat TM.

Otra aportación trascendente del proyecto es la obtención, por medio del procedimiento Explorafor, del cubrimiento del suelo en el área de estudio, lo que permitió generar un nuevo mapa de uso actual del suelo, actualizando la información proporcionada por la carta temática de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, cuya última verificación es de 1996.

Análisis y discusión

Al definirse los objetivos del proyecto de investigación se determinó que era fundamental la uniformidad y coherencia de la información que se integraría al SIG. Cuando se encontraron fuentes de información disímiles se realizaron procedimientos de control de calidad, verificación y comparación de datos, obtención de datos similares desde fuentes distintas, y se realizaron reuniones periódicas de planeación y verificación de ruta crítica.

El SIG dio mayor ponderación a los datos básicos y temáticos manejados por las instancias geográficas oficiales, como el INEGI y el IITEJ, los cuales se revisaron y agregaron sin que por lo general hayan presentado mayores discrepancias excepto por su antigüedad en algunos datos temáticos: algunos muy importantes como el de Uso Potencial del Suelo, cuyas clasificaciones vienen desde 1974 hasta 1984. Es importante tomar en cuenta que las clasificaciones de usos de suelo o de uso potencial son de origen estadístico, es decir, ninguna muestra es completamente pura, por lo que se le da el mayor peso clasificatorio a los elementos más abundantes en determinado lugar y está sujeta también a criterios de metodología,

temporalidad y escala, entre otros.

Es también adecuado señalar que los datos temáticos de edafología y geología son prácticamente inalterables, mientras que los de información climática (temperatura, precipitación) o humana (asentamientos urbanos, infraestructura, etcétera) son excesivamente variables pues dependen de su temporalidad. Los datos geográficos subsiguientes de las mismas instancias, como los límites municipales y elementos físicos del terreno, se consideraron válidos cuando se comprobó la coincidencia entre sí mismos y los perímetros estatales y rasgos como arroyos, parteaguas y linderos de predios en campo.

En el caso de los perímetros de la subcuenca y del embalse del lago, la definición de los mismos puede variar según la metodología, la temporalidad y la precisión ejecutadas en su creación. En el proceso de SIG se generó un perímetro para el lago que no corresponde necesariamente a la cota 97.80, pero se comparó espacial y matemáticamente con el que manejan el INEGI, la CONAGUA y los municipios perimetrales del lago, sin encontrarse discrepancias cartográficas notables. Se empleó también el perímetro vectorial de la subcuenca que maneja el INE, con algunas modificaciones de la CONAGUA; se encontraron ligeras diferencias con la base vectorial del SIG debido probablemente a la metodología de su generación, donde influye fuertemente la escala a la que fue construido y que al aplicarse a una escala distinta genera detalles de trazo, que sin embargo no afectan significativamente el resultado cartográfico.

Los elementos puntuales obtenidos o medidos por el grupo de investigación fueron integrados en el sistema de coordenadas del SIG, con lo que se garantizó su correcta localización dentro de la subcuenca, considerando sobre todo que los datos de muestreo de contaminantes, de pérdida de suelo, de muestreos de agua, de PTAR y de estaciones meteorológicas deben interpolarse para obtener el cubrimiento total del área de estudio, por lo que es fundamental que no existan errores o diferencias en su ubicación. Esto no es completamente aplicable en cuanto a los datos puntuales de localización de sitios de contaminantes manejados por otras fuentes de los cuales no existe un registro completo, como es el caso de granjas porcícolas, basureros y desagües o pozos de vaciado, o registros no estrictos como el caso de gasolineras, rastros y RETC. En este caso, se hizo un operativo de campo para verificar algunos datos, asimismo se empleó investigación documental para definir la certeza de los valores de este tipo.

Los datos que se obtuvieron a lo largo del proyecto se incorporaron, previo tratamiento cartográfico, al sitio informático donde se pudieron combinar, examinar y obtener de él resultados numéricos y espaciales; el SIG como plataforma tiene potencial para incorporar nuevas capas de información a partir de nuevos proyectos en el área de estudio. Destaca el valor de los mapas generados para orientar la toma de decisiones, por la facilidad de interpretación de datos complejos en imágenes: por ejemplo,

las capas de información concernientes a cada uno de los 13 municipios participantes se publicó en formato de consulta y se entregó a los gobiernos respectivos, con el interés de facilitar su utilización.

Conclusiones y recomendaciones

- El SIG desarrollado como base del proyecto de investigación fue integrado de acuerdo a estándares nacionales e internacionales, por lo que se puede considerar apropiado para la correcta interpretación de los datos.
- El conjunto de datos obtenido para la integración de SIG está validado y supervisado, por lo que resulta un valioso reservorio de información sobre el área de estudio. Sin embargo, algunos datos deberán ser actualizados a mediano plazo para que se mantenga vigente.
- Las diversas proyecciones y modelajes de datos, como el SWAT, se sustentan en los datos del SIG y en la información medida en campo.
- Existen algunos faltantes de información que deberán ser subsanados con el fin de ampliar la capacidad de integración e interpretación del SIG, específicamente la validación en campo de algunos datos obtenidos documentalmente y los datos generados por diversos sujetos involucrados en el área.
- Debido a posibles diferencias entre fuentes de información, se deberá establecer un procedimiento riguroso en la integración de nuevos datos al SIG, evitando así que información no fidedigna contamine la interpretación de los resultados.
- El proceso de datos puede ampliarse para obtener otros productos, como áreas de influencia de sitios de muestreo o medición, simulaciones de escurrimientos y movimiento de suelos para seguimiento y control de erosión, modelaje y proyección a futuro de eventos físicos como crecimiento urbano, desecación de zonas, efectos de la ampliación de regiones con cambio de uso del suelo, efectos de mitigación, zonas prioritarias en vista a la ampliación de un plan de manejo, proyectos especiales sobre zonas particulares pertenecientes al área, entre otros.
- Se sugiere la publicación de resultados del SIG del proyecto por diversos medios: mapas individuales impresos, exposiciones y conferencias, distribución por medios electrónicos en formatos con diversos grados de derecho (dependientes de cada usuario), establecimiento en internet de un servicio de intercambio de datos o clearinghouse con diversas dependencias, institutos, universidades y centros de estudio.
- Al ser el SIG un ente dinámico debe definirse su crecimiento y función, estableciendo su utilidad para el seguimiento de los resultados de interpretación y difusión de los datos y en consecuencia de las acciones de la autoridad, instituciones y demás interesados sobre el área.

Literatura Citada

Ávalos D., R. Muñoz, Sosa M. 2006. Modelo geoidal en México y sus aplicaciones. Dirección General de Geografía, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

Boucher C.& Z. Altamimi, 1992. The IERS GPS Terrestrial Reference Frame. Institut Géographique National, Terrestrial Frame Section, Central Bureau of IERS. Publicado en IERS Technical Note No. 10, 1992. Paris, France.

CEA Jalisco, 2000. Batimetría del lago de Chapala. Comisión Estatal del Agua Jalisco. Gobierno de Jalisco, México.
<http://www.ceajalisco.gob.mx/chapala.html>

Cotler H., M. Mazari, J. de Anda, editores, 2006. Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México; Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Diario Oficial de la Federación, 6 de marzo de 1980. Decreto por el que por causa de utilidad pública se establece zona de protección forestal y refugio de la fauna silvestre la región conocida como La Primavera, que se localiza dentro de una superficie aproximada de 30.500 Has., de propiedad particular en los Municipios de Tala, Zapopan y Tlajomulco, Jal. Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos, México.

Diario Oficial de la Federación, 1º. de abril de 1985 reformado el 27 de abril de 1998. Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

Diario Oficial de la Federación, 15 de octubre de 2003. Acuerdo por el que se dan a conocer las denominaciones y la ubicación geográfica de las diecinueve cuencas localizadas en la zona hidrológica denominada Río Lerma-Chapala, así como la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas que comprende dicha zona hidrológica. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

Diario Oficial de la Federación, 23 de diciembre de 2010. Norma Técnica para el Sistema Geodésico Nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

Díaz A. y E. Valencia, 2008. Proyecto Lidar Chalacatepec. Proyecto geodésico para medición de superficies con tecnología Lidar. Geodatum S.A. de C.V., Guadalajara, México.

ESRI, 1990. Understanding GIS. The Arc/INFO Method. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, California, USA.

García I., 2006. El lugar y la región en la cartografía colonial. El caso de Guadalajara y la Nueva Galicia. Scripta Nova, revista electrónica de geografía y ciencias sociales de la Universidad de Barcelona. Barcelona, España.
<http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-218-71.htm>



Heywood I., S. Cornelius, S. Carver, 1998. An introduction to Geographical information systems. Prentice-Hall, New Jersey, USA.



INEGI, 1994. La nueva Red Geodésica Nacional, una visión hacia el futuro. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.



INEGI, 2010. Compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e información de carácter fundamental: 10. Marco Geoestadístico. 10.1. Marco Geoestadístico Nacional. Dirección General Adjunta de Información Geográfica Básica, Dirección general de Geografía y Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.



Juárez A. (Coordinador). 2010. Propuesta del Plan de Manejo del Sitio Ramsar Lago de Chapala (Componente Ecológico). Proyecto presentado ante la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Jalisco. México.



Mena, J.B., 2007. Geodesia superior. Volumen 2, Proyecciones Cartográficas y Geodesia Espacial. Instituto Geográfico Nacional, Gobierno de España. Madrid, España.



Montenegro M., 2012. El lago de Chapala (introducción). Comentario del Profesor Investigador Manuel Montenegro, por Enfoques Radio del Sistema Jalisciense de Radio y Televisión. Academia de Energía, Térmica y Fluidos, Universidad Panamericana, campus Guadalajara.
<http://www.up.edu.mx/document.aspx?doc=27567>



Periódico Oficial del Estado de Jalisco, 2012. Mapa General de Jalisco 2012. Acuerdo del Ciudadano Gobernador del Estado de Jalisco, México.



RAH, 2012. Plano geométrico del lago de Chapala. Real Academia de Historia, Ministerio de Cultura, Gobierno de España. Madrid, España.
<http://bibliotecadigital.rah.es/dgbrah/i18n/consulta/registro.cmd?id=12493>



Sandoval, F. de P., 1994. Pasado y futuro del Lago Chapala. Unidad Editorial, Secretaría de Gobierno, Gobierno de Jalisco, México.

SARH, 1981. Levantamiento Hidrológico del lago de Chapala, en Jalisco y Michoacán. Subsecretaría de Planeación, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México.

SEMARNAT, 2000. Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.



CAPÍTULO 6.-

APLICACIÓN DEL MODELO SWAT PARA EVALUAR LA CALIDAD AMBIENTAL ACTUAL Y POTENCIAL DE LA SUBCUENCA CHAPALA

Dinora Bautista Ávalos¹, Gustavo Cruz-Cárdenas^{1*}, Rodrigo Moncayo Estrada¹, José Teodoro Silva García¹

¹Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, CIIDIR-IPN-Michoacán, Justo Sierra 28, 59510, Jiquilpan, Michoacán, México.

*Autor para Correspondencia: gcruzc@colpos.mx

Resumen

Los modelos de balance hidrológico de cuencas son herramientas que permiten describir los procesos dinámicos y predecir, a través de la simulación, escenarios del impacto de las actividades productivas de la región. En el presente trabajo se determinó el balance hídrico, pérdida de sedimentos y movimientos contaminantes en la subcuenca Chapala, mediante la herramienta de monitoreo de agua y suelo. Se alimentó el programa con el modelo digital de elevación, con información del tipo de suelo incorporando los resultados de análisis del laboratorio y uso del suelo que se actualizó por medio de imágenes de satélite con el programa Explorator, así como con las bases de datos climáticas obtenidas del programa ERIC-CONAGUA. Se hizo una simulación decadal (1999 a 2011), se analizó información de algunas variables de la zona y se procedió a una simulación a futuro. Se visualizaron 40 años donde destacan fluctuaciones de los escurrimientos y la lluvia cada 10 años aproximadamente que se pueden relacionar con manchas solares y los eventos de El Niño y La Niña. El balance hídrico resultó negativo por un margen de tres órdenes de magnitud. Esto se puede relacionar a que se trata de una subcuenca abierta, ya que el principal afluente es el río Lerma. Se alimentó el modelo con los valores de los agroquímicos y se simularon. En cuanto a los herbicidas, se predijo una aplicación promedio anual de 408.1 g ha⁻¹ de principio activo, con una degradación de 342.1 g ha⁻¹. Para los plaguicidas se obtuvo un valor de 533 g ha⁻¹ con una importante decadencia de 532.5 g ha⁻¹. El total de los pesticidas disueltos es del orden de 1.7 g ha⁻¹ y los adsorbidos de 11.8 g ha⁻¹.

Palabras Clave: Modelos hidrológicos, propiedades de suelos, cambio climático.

Introducción

A nivel mundial, la actividad agropecuaria constituye una importante fuente de contaminación de las aguas ya que aporta cantidades importantes de sedimentos, nutrientes, agentes patógenos y plaguicidas a través de la erosión hídrica. Por su parte, reseña algunas de las acciones humanas que han tenido efecto sobre la calidad del agua: la construcción de presas, canales, caminos; la tala de bosques; el uso indiscriminado de tierras para cultivos; las emanaciones de la industria y el propio asentamiento humano.

La subcuenca del Lago de Chápala no escapa a este tipo de problemática debido a diversos impactos negativos por parte de las actividades humanas (Sotelo, 2006). Esto se acrecienta por su pertenencia y ubicación en la parte baja de la Cuenca Lerma-Chapala, que se categoriza como la más contaminada del país (Cotler et al., 2006). Los ecosistemas localizados en una cuenca funcionan en forma compleja e interrelacionada, tanto los localizados en las partes altas como en las partes bajas, los terrestres

con los acuáticos, etcétera. Asimismo, la contaminación genera efectos que no se ajustan al ámbito municipal y con frecuencia influyen en áreas alejadas gracias a los efectos de transporte del agua de lluvia, principalmente. Una metodología que puede estructurar escenarios de manejo es la de los modelos de simulación hidrológica en combinación con los Sistemas de Información Geográfica (SIG; Comair et al., 2012).

Se destaca la necesidad de estudiar el comportamiento hidrológico de una cuenca para predecir su capacidad de generación y exportación de contaminantes. Esto permitiría diseñar estrategias de atenuación de dicha fuente de contaminación (Kraemer et al., 2011). Como soporte en la toma de decisiones, a dicha escala, tanto la erosión y el escurrimiento como la dinámica de los contaminantes químicos y biológicos, pueden ser cuantificados mediante modelos hidrológicos de base física. El modelado hidrológico es a menudo el primer paso en el desarrollo de sistemas de decisión espacial para identificar áreas vulnerables a la contaminación por nutrientes, pesticidas, así como también por contaminantes biológicos.

La herramienta más usada para satisfacer los puntos anteriores es el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Este ha sido desarrollado para evaluar el impacto del uso y manejo de la tierra sobre la producción y calidad de agua, así como el movimiento de sedimentos y nutrientes en cuencas hidrológicas (Arnold et al., 1998; Neitsch et al., 2005). Se considera una herramienta útil para la investigación de estrategias alternativas de manejo, en cuanto a los efectos sobre la hidrología y calidad del agua (White y Chaubey, 2005). Ha sido exitosamente empleado en simulaciones de flujo de largo plazo, erosión y transporte de sedimentos y nutrientes en áreas de diferente tamaño y condiciones ambientales (Torres-Benites et al., 2005, Silva, 2010, Kraemer et al., 2011).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el balance hídrico, la pérdida de sedimentos y movimiento de contaminantes en la subcuenca Chapala, mediante la aplicación de la herramienta de monitoreo de agua y suelo (SWAT).

Materiales y Métodos

1. Área de estudio

La subcuenca del Lago de Chapala se encuentra en la Región Hidrológica 12 Lerma-Chapala-Pacífico, en la parte baja de la cuenca Lerma-Chapala con las coordenadas 20° 22' Norte, 102° 21' Este, 19° 50' Sur y 103° 34' Oeste, con una superficie de 3,312 km² (Figura 1). El área de estudio incluye 13 municipios, de los cuales cinco se localizan en Michoacán (Briseñas, Cojumatlán de Regules, Venustiano Carranza, Marcos Castellanos y Sahuayo), y ocho en Jalisco (La Barca, Jamay, Ocotlán, Poncitlán, Chapala, Jocotepec, Tuxcueca, Tizapán El Alto).

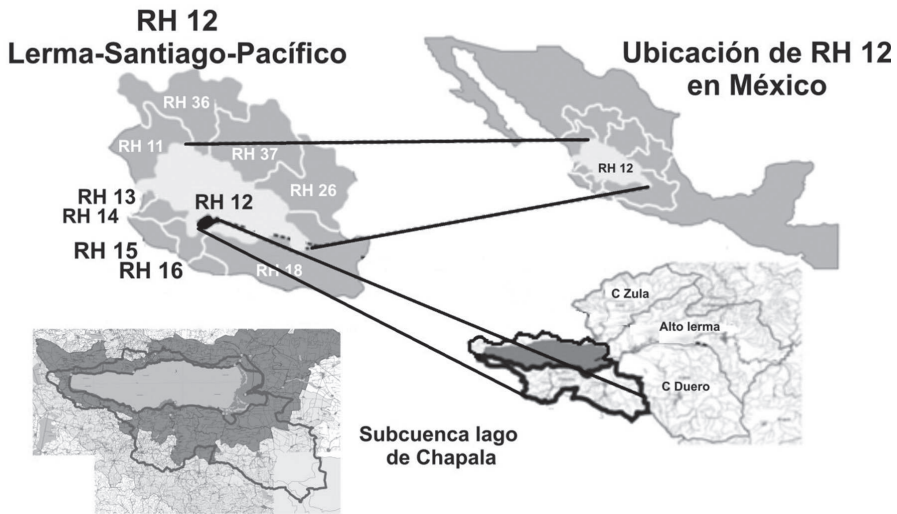


Figura 1. Localización de la cuenca propia del Lago de Chapala

2. Bases de Datos

El modelo digital de elevación se obtuvo del continuo de elevaciones mexicano de INEGI (<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>).

La información de clima que se requirió fue la correspondiente a precipitaciones diarias, temperaturas máximas y mínimas diarias, la cual se obtuvo del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III versión 2.0). La radiación solar, humedad relativa y punto de rocío se obtuvieron a partir de la interpolación del método del inverso de la distancia ponderada de datos de 20 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA.

Las propiedades de suelos por horizonte que requiere el modelo son: densidad aparente, conductividad hidráulica, porcentaje de arena, limo y arcilla, y contenido de materia orgánica; las cuales se consiguieron a partir del muestreo en campo y análisis en laboratorio.

Los datos de uso de suelo y vegetación se encontraron a partir de la clasificación supervisada de datos de sensores remotos del satélite Landsat e imágenes Quickbird Bundle analizadas mediante el programa Explorafor.

Modelo SWAT

El SWAT es un modelo de tipo funcional que combina bases físicas y conceptuales con procedimientos empíricos; permite desagregar la cuenca en unidades homogéneas de respuesta hidrológica (URH) según clima, vegetación, suelo, uso e hidrología. Las simulaciones se efectúan sobre base diaria y pueden alcanzar decenas de años, con el uso de valores climáti-

cos obtenidos de los registros o generados por el modelo, también por una combinación de ambas opciones (Arnold et al., 1998; Neitsch et al., 2005). La escorrentía es estimada diariamente mediante modificaciones del método de número de curva con ajustes según pendiente y humedad del suelo.

La infiltración se valora como la diferencia entre la precipitación y la escorrentía, mientras que el flujo de agua subterránea se rige por una serie de parámetros en los que influyen las tasas con las que el agua infiltrada al suelo puede evaporarse hacia la superficie, fluir desde el perfil humedecido del suelo hacia el acuífero superficial, evaporarse desde el acuífero superficial hacia los estratos suprayacentes, fluir desde el acuífero superficial hacia el cauce como flujo de base, infiltrar profundamente o perderse hacia el acuífero profundo.

Información de nutrientes y agroquímicos

Se estructuró el concentrado de fertilizantes y plaguicidas que se utilizan en la subcuenca de Chapala, derivado de las encuestas que se aplicaron a los productores agrícolas. Se completaron las bases de datos con ayuda de los manuales Agroquímicos de México (De Liñán, 2011) y Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas (Castellanos et al., 2000). Se obtuvieron nueve fertilizantes principales (urea, fórmula triple, sulfato de amonio, nitrato, amonitro, potasio, fosfonitrato, nonil fenol etoxilado y mezcla física), 16 herbicidas y 20 plaguicidas (tablas 1 y 2, respectivamente).

Sustancia activa	Nombres comerciales encontrados	K _{oc} (ml/g)	Fracción lavada	Vida media (días)		Solubilidad en al agua (mg/L)	Ingrediente activo por litro
				Foliar	Suelo		
PARAQUAT	Gramoxone, Gramocil, Gemelos 22%, Transquat, Prelude	1'000,000	0.6	30	1,000	6'200,000	250
DICAMBA	Marvel, Banvel	2	0.65	9	14	400,000	480
2,4-D	Hierbamina no menor de 83%, Hacha, Esteron 47, Dacamine	20	0.45	5	10	890	480
GLIFOSATO	Coloso Total 360 28%, Glif 300, Faena, Roundup	24,000	0.6	2.5	47	900,000	480
OXADIAZON	Ronstar	3,200	0.5	20	60	0.7	250
CLODINAPOP-PROPARGYL	TOPIK® 240 EC 23.6%, Topik Gold 8.3%			NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code			
NICOSULFURON	Sanson 4 sc			NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code			
ATRAZINA	Calibre 90 GDA, Primagram Gold 33.7%, Guardsman 35.30%, Gesaprim, Aatrex	100	0.45	5		30	900
METSULFURON METIL	Sigma Forte 1.0 %, Ally	35	0.8	30	120	9,500	600
TRIASULFURON	Amber 75 GS, Guardsman 18.20%, Pursuit	10	0.9	20	90	200,000	900
PICLORAM	Hacha, Tordon	16	0.6	8	90	200,000	240
S METOLACLOR	Lumax 29.40%, Dual	200	0.6	5	90	530	915
DIURON	Gemelos 10 %, Karmex	480	0.45	30	90	42	800
GLUFOSINATO DE AMONIO	Finale 13.50 %, Basta	100	0.95	4	7	1'370,000	150
FLUCARBAZONE SODIO	Everest, Everest Ultra, Vigia			NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code			

Tabla 1. Concentrado de herbicidas. K_{oc} = coeficiente de adsorción

Sustancia activa	Nombres comerciales encontrados	K _{oc} (ml/g)	Vida media (días)			Solubilidad en el agua (mg/L)	Ingrediente activo por litro
			Fracción lavada	Foliar	Suelo		
CIPERMETRINA	Arrivo 21.42%, Tirano, Ammo	100,000	0.4	5	30	0.004	200
CLORPIRIFOS	Lorsban, Foley rey 33.8%	6,070	0.65	3.3	30	0.4	480
PARATION METILICO	Flash 2%, Folodol-M72, Pennncap-M	5,100	0.9	3	5	60	540
CARBOFURAN	Furadan	22	0.55	2	50	351	100
METAMIDOFOS	Tamaron 43.3 Tramofos		NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code				
DIMETOATO	Dimetoato, Cygon	20	0.95	3	7	39,800	480
DIAZINON	Dragon 25%, Basudin 600, EC 60%, Spectracide	1,000	0.9	4	40	60	236
PYRACLOSTROBIN	Headline 23.6%		NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code				
LAMDA CYALOTRINA	Karate 5%	180,000	0.4	5	30	0.005	70
PIRIMICARB	Pirimor 50 %		NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code				
ENDOSULFÁN	Thiodan	12,400	0.05	3	50	0.32	375
IMIDACLOPRID	Muralla		NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code				
MALATIO	Malatión, Cythion	1,800	0.9	1	1	130	520
ETIÓN	Etion, Ethanox	10,000	0.65	7	150	1.1	500
PERMETRINA	Ambush 48.34%, Maton 90%, Pounce	100,000	0.3	8	30	0.006	340
TERBUFOS	Triunfo 5%, Vikingo 5%, Counter 15%, Acance 5% Counter	500	0.6	2.5	5	5	150
CIPERMETRINA (ZETA-CIPERMETRINA)	Mustang 12%, Ammo	100,000	0.4	5	30	0.004	200
METOMILO	Lannate	72	0.55	0.5	30	58,000	214
BENZOATO DE EMAMECTINA			NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code				
TEBUPIRIMIPHOS	Azteca, 2.000, Granulado 2.0%		NO INCLUIDO EN LA USEPA/OPP Code				

Tabla 2. Concentrado de plaguicidas. K_{oc} = coeficiente de adsorción

Los agroquímicos se cotejaron con la base de datos con la que cuenta el SWAT, para obtener los diferentes parámetros que solicita el modelo. En el caso de los nutrientes, se determinan de acuerdo al volumen del agua; las concentraciones promedio, el escurrimiento lateral y la percolación. El fósforo se reparte en las fases de solución (fósforo lábil en la capa superior del suelo) y sedimentación (como una función de concentración) por su gran asociación con los sedimentos.

Se estructuró el concentrado de fertilizantes y plaguicidas que se utilizan en la subcuenca de Chapala, derivado de las encuestas que se aplicaron a los productores agrícolas. La simulación de los pesticidas incluye el escurrimiento, la percolación, la evaporación del suelo y el sedimento; se desarrolla por medio de la técnica GLEAMS. La simulación se hizo de 1999 a 2011, empleando como datos de entrada para el modelo: bases de clima, unidades de suelos y vegetación. Las salidas fueron la producción de agua y sus componentes (principalmente escorrentía superficial y flujo de base), la producción de sedimentos y la carga de nutrientes.

El transporte de los pesticidas se separa en las dos grandes divisiones que tiene el programa SWAT para la simulación. La fase del suelo que determina la cantidad de pesticidas en los canales principales de cada subcuenca a través de las escorrentías superficiales y en el perfil del suelo por percolación en solución (Gevaert, et al., 2008). El modelo SWAT divide el agua profunda en dos sistemas de acuíferos (superficial y profundo) (Ar-

nold et al., 1998). La segunda división define el transporte de los pesticidas en la red de canales de la cuenca, dividiéndolos en disueltos y en unidos a los sedimentos. Los principales procesos simulados dentro del cauce son sedimentación, entierro, resuspensión, volatilización, difusión y transporte (Neitsch et al., 2010).

Para hacer predicciones razonables de la concentración de los pesticidas en un río, es importante poner atención en la simulación hidrológica del SWAT para los valores predictivos de los flujos anuales promedios, sedimentos y nutrientes (N orgánico, NO₃-N, P orgánico y PO₄-P) (Saleh et al., 2000). Para la simulación en esta etapa se eligieron dos patrones de manejo con el fin de examinar el efecto de la fertilización en las entradas de N, P, y sedimentos a los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la subcuenca.

En el primer escenario se asume que no se implementan nutrientes en las actividades productivas de la región. El segundo, incorpora los fertilizantes químicos y orgánicos aplicados, considerando los valores obtenidos a partir de las encuestas aplicadas. Si bien esto representa un escenario hipotético simple que de primera instancia demuestra la manera cómo funciona el modelo, también ayuda a detectar las cantidades probables de nutrientes que se están incorporando a los ecosistemas acuáticos.

Resultados y Discusión

Delimitación de la cuenca

Con base al MDE, la altitud mínima, media y máxima de la subcuenca Chapala es de 1409, 1662 y 2954 m respectivamente. De forma automática, el modelo generó redes de drenaje y un total de 45 subcuencas derivadas.

Datos de Clima

La información de clima data desde 1900, aunque en su mayoría (88.4%) corresponde al período de 1960 a 2007; para algunas estaciones se cuenta con información hasta el año 2008 (IMTA, 2011). Se consideraron sólo ocho estaciones (Tabla 3), con datos correspondientes al período de 1960 a 2007 y se complementaron con información de las páginas del Sistema Meteorológico Nacional (SMN, 2012), el Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2012) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2012).

Uso de Suelo y vegetación

La agricultura es el principal uso del suelo y ocupa el 40% de la superficie terrestre de la subcuenca Chapala; la extensión del lago de Chapala re-

presenta casi una cuarta parte del área de la cuenca y el bosque tropical caducifolio se distribuye en el 20% de la misma (Figura 2).

Estación	Latitud	Longitud	Elevación
Tuxcueca	20° 10' 1.2''	-103° 12'	1540
P. El volantín	20° 4' 1.2''	-103° 4' 58.8''	1924
Mezcala	20° 19' 58.8''	-103° 1' 1.2''	1523
Jiquilpan	20° 0' 0''	-102° 42' 0''	1536
Jamay	20° 17' 56.4''	-102° 39' 18''	1521
Cumuato	20° 15' 10.8''	-102° 35' 9.6''	1524
Casa fuerte	20° 4' 1.2''	-102° 40' 58.8''	1523
Chapala	20° 18' 0''	-103° 12' 0''	1523

Tabla 3. Estaciones meteorológicas seleccionadas y su ubicación.

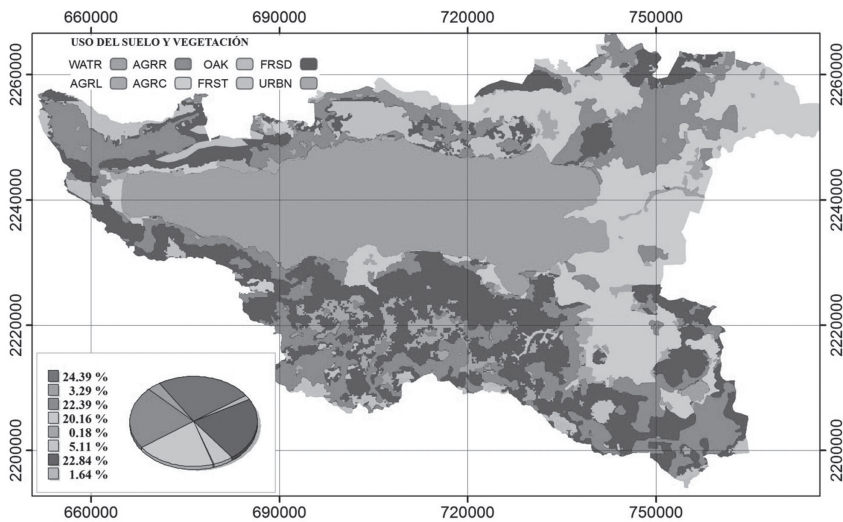


Figura 2. Mapa de Uso del Suelo y Vegetación

Suelos

Los suelos que predominan en la cuenca se clasifican como Vertisoles; son suelos con textura arcillosa, caras de deslizamiento, grietas que se contraen y se expanden con la ganancia y pérdida de humedad. El pH de los suelos es de neutro a ligeramente alcalino; de manera natural son suelos con moderada capacidad de producción agrícola. Los Luvisoles son suelos arcillosos pero contienen contenido de óxido de aluminio, lo cual les da una coloración rojiza. Son suelos de pH neutro a ácido; el tipo de ve-

getación que predomina sobre éstos es de bosques de pino-encino. Los Phaozems son suelos que contienen más de 1.2% de materia orgánica en el horizonte superficial, la estructura de suelos es granular o migajosa, su pH es principalmente de neutro a ácido (Figura 3).

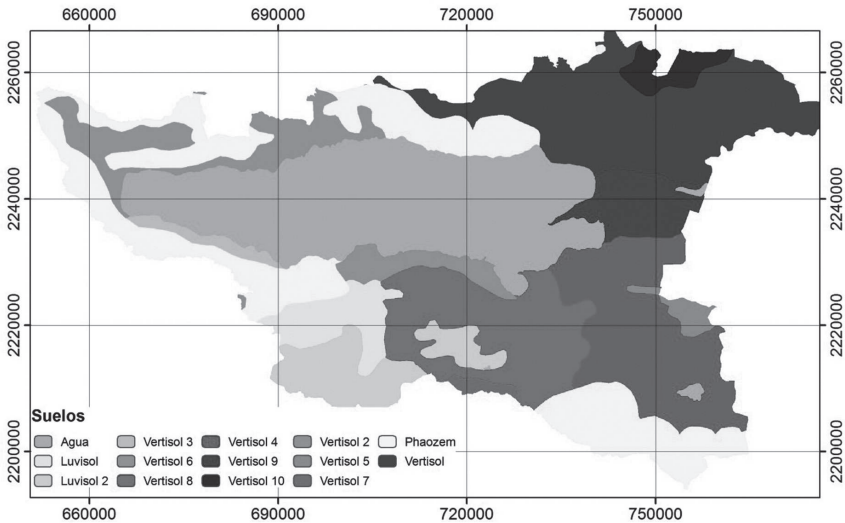


Figura 3. Mapa de Suelos

Pendiente

Aproximadamente, el 50% de la cuenca tiene una pendiente menor al 3%, esto se debe a la extensión del lago de Chapala. El 25 % de la superficie de la subcuenca tiene pendientes mayores a 10%, y el área restante oscila entre 3 y 10% (Figura 4).

HRUs Clases y sus características

Se crearon las HRUs a partir de la combinación única de la distribución de todos los usos del terreno, suelos y pendientes después de la aplicación de los umbrales. La aplicación de la definición de las HRUs permite al modelo reflejar diferencias en evapotranspiración y otras condiciones hidrológicas para diferentes coberturas del terreno, cultivos y suelos. También las escorrentías son predichas para cada HRU, las cuales se suman con el fin de establecer las escorrentías totales en la subcuenca e incrementar la precisión de las entradas, con una mejor descripción física del balance del agua (Neitsch et al., 2010).

Se puede apreciar que la mayor parte de la subcuenca presenta actividad agrícola en las tres modalidades analizadas (161,065.59 ha), con lo que se cubre casi el 40% del área, mientras que le siguen los cuerpos de agua, dado por la extensión del lago de Chapala (132,418.06 ha) con un 32%

del área y finalmente la vegetación natural (117,800.49 ha) con un 28%. Un aspecto importante, con base en estas características, es que los porcentajes de agua por área son también proporcionales a lo descrito (Tabla 4).

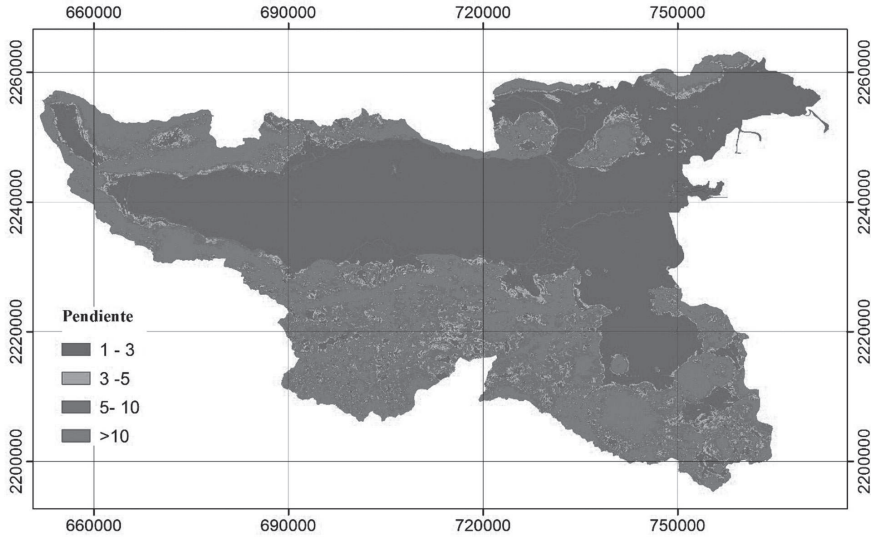


Figura 4. Mapa de Pendiente

Subcuenca	Área [ha]	411,284.15	
		Área [ha]	%AguaxÁrea
USO DEL TERRENO:			
Agricultura de temporal	71,247.53		17.32
Matorral subtropical	108,723.90		26.44
Agricultura de riego	83,761.18		20.37
Bosque de pino-encino	9,076.59		2.21
Cuerpos de agua	132,418.06		32.2
Agricultura de ladera	6,056.88		1.47
SUELOS:			
Vertisol	50,886.13		12.37
Phaozem	63,059.60		15.33
Vertisol2	17,282.74		4.2
Vertisol10	737.06		0.18
Agua	145,750.46		35.44
Vertisol9	12,974.56		3.15
Vertisol4	44,508.61		10.82
Vertisol6	1,386.87		0.34
Vertisol8	49,212.34		11.97
Vertisol5	3,092.63		0.75
Luvisol2	21,884.15		5.32
Vertisol7	509.00		0.12
PENDIENTE:			
0-5	249,055.21		60.56
>10	128,157.66		31.16
5-10	34,071.27		8.28

Tabla 4. Unidades de respuesta hidrológica de subcuenca Chapala

Simulación

El resultado de la simulación incluyó un período de 12 años de información (1999-2011), con una frecuencia anual y se efectuó con el análisis de los escurrimientos (SURQ) (Figura 5). La selección de esta década responde a que se llega a un nivel bajo crítico del Lago de Chapala en el año 2001 (pérdida del 80% de su volumen) y posteriormente a un proceso de recuperación a mediados de la década (Cotler et al., 2006). Se identifican valores relativamente altos para los primeros años, si bien correspondieron a un período seco, aunque se refleja un incremento en el 2004 donde se tuvo un año particularmente húmedo.

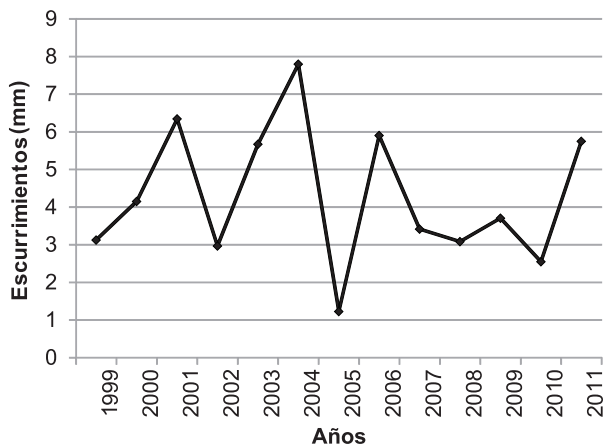


Figura 5. Dinámica y magnitud de los escurrimientos superficiales simulados por el SWAT en la subcuenca del Lago de Chapala.

Considerando al Lago de Chapala como el cuerpo de agua representativo de la subcuenca, se procedió a comparar los resultados de los SURQ, la recuperación anual de acuerdo a los niveles máximos y mínimos de almacenamiento y el cambio de nivel del cuerpo de agua para determinar cómo se relacionan. Se puede apreciar que no hay una correspondencia directa, ya que el afluente principal del lago es el río Lerma, el cual incorpora agua de toda la cuenca Lerma-Chapala, sin embargo se identifican coincidencias en algunas tendencias.

Particularmente, se tiene una tendencia de valores bajos de escurrimiento, recuperación y nivel hacia el año 2002, momento en que el lago alcanzó la cota más baja como no había ocurrido en 50 años y que también fue manifiesto en otros cuerpos de agua epicontinentales del país (Alcocer-Durán y Bernal-Brooks, 2009). Posteriormente, se presentó un importante incremento en los años 2003 y 2004, lo que hizo que el lago se recuperara, después se presentó una reducción de los escurrimientos en el año 2005, lo que se manifestó en el 2006 cuando bajó el nivel del cuerpo de agua (CEA, 2012).

Partiendo de los resultados del modelo SWAT, se puede establecer el balance hídrico para el período 1999-2011. Un aspecto importante

a considerar es que la evapotranspiración excede en todos los meses a la precipitación, lo que implica que no se tiene almacenamiento de agua durante dichos meses y la diferencia entre ambos factores se considera déficit. Dicho déficit evapotranspirativo mensual presenta un promedio de 801.1 mm, equivalentes a $8,011 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Comportamientos de este tipo también se han reportado en otras cuencas, como en el río de La Laja en Guanajuato, con déficits similares (824 mm; Palacios-Vélez y López-López, 2004).

Entre las razones para entender este comportamiento se destaca que (i) la subcuenca presenta como afluente principal al río Lerma, un elemento que nace en una zona externa a la región de la subcuenca. (ii) La mayor parte de la superficie está ocupada por el Lago de Chapala y su ciénaga, que representaba anteriormente al lago, lo que impone un régimen alto de evaporación y evapotranspiración. Estudios previos describen este desbalance con valores de evaporación del lago del doble de la precipitación y escurrimiento de la subcuenca juntos ($1,394 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ y $711 \text{ hm}^3 \cdot \text{año}^{-1}$, respectivamente; Aparicio, 2001). (iii). Existe una disminución de las aportaciones de los afluentes dentro de la subcuenca, lo que se puede apreciar en los resultados de la simulación con una tendencia a la reducción de los escurrimientos. Además, en cierta medida lo anterior está relacionado al aumento en la explotación de los acuíferos, lo que además afecta el volumen del Lago de Chapala por la comunicación hidráulica del lago con el acuífero definido por gradientes piezométricos (Silva et al., 2002).

Dentro del contexto de la simulación, una de las ventajas de un modelo es la posibilidad de hacer proyecciones del comportamiento futuro del sistema que se analiza (Dibike et al., 2012; Shrestha et al., 2012). Esto se ha realizado con énfasis en aspectos de gran interés como es el cambio climático (Kalogeropoulos y Chalkias, 2012). En la Figura 6 se presenta el comportamiento simulado del escurrimiento superficial y la precipitación en la subcuenca para los próximos 40 años.

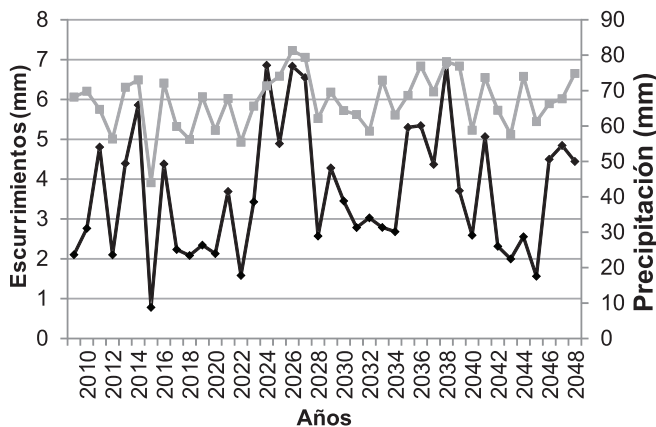


Figura 6. Proyección de los escurrimientos superficiales y la precipitación en la subcuenca del lago de Chapala al año 2050.

Se identifican una serie de pulsos que se repiten aproximadamente de manera decadal. Sin embargo, en la primera década se presentan grandes fluctuaciones con valores menores de escurrimiento y precipitación, implicando la probabilidad de años más secos. También se identifica una importante recuperación a mediados de la década del 2020, con años secos en la década del 2030 y una recuperación en la década del 2040.

Fluctuaciones de nivel de baja frecuencia, relacionadas con la evidencia de la modulación con una amplitud de 11 años en el ciclo solar conocido como manchas solares, se han observado en diferentes cuerpos de agua (Mason et al., 1994; Mauas et al., 2010). Estas se pueden atribuir a fluctuaciones climáticas en la cuenca que afectan el cambio en el volumen, incremento o decremento en la temperatura del aire, evaporación, flujos de los ríos, etcétera (Filonov et al., 2001).

Otros posibles elementos causales de este comportamiento son los eventos de El Niño, que promueve volúmenes de agua altos y La Niña con condiciones secas, produciendo descenso en el volumen de los cuerpos de agua (La Valle et al., 2000). No existe una temporalidad constante de ambos, ya que El Niño se ha presentado cada 3 a 20 años con un promedio de 9.6 años y La Niña cada 4 a 12 años con un promedio de 7.43 años (NOAA, 2013).

Las cantidades de escurrimiento y entradas de sedimentos se mantuvieron constantes en ambos escenarios (Tabla 5). Como es de esperarse, se tiene un aumento de N y P en los flujos superficiales y sub-superficiales; lo que cabe subrayar es la magnitud que en varios casos fue en términos de millares de porcentaje. Particularmente, destaca el movimiento de NO₃ hacia el subsuelo lo que puede estar relacionado con el tipo de suelo y su permeabilidad.

	Escenario 1: Sin Fertilización	Escenario 2: Con Fertilización	Cambio (%)	Unidades
Escurrecimiento superficial	51.39	51.31	-0.2 (-0.1%)	mm
Producción total de sedimentos	3.09	3.01	-0.08 (-2.6%)	t/ha
N Orgánico	6.9	7.7	0.8 (11.9%)	kg/ha
P Orgánico	0.81	0.83	0.02 (2.4%)	kg/ha
NO ₃ Producidos en el flujo superficial	0.7	22.3	21.5 (2,924%)	kg/ha
NO ₃ Producidos en el flujo sub-superficial	0.03	6.5	6.4 (20,063%)	kg/ha
NO ₃ Percolados al acuífero somero	0.3	261.6	261.3 (102,088%)	kg/ha
P Percolado al acuífero somero	0.5	13.7	13.3 (2,666%)	kg/ha
N en fertilizante Aplicado	0.00	143.5	143.5	kg/ha
P en fertilizante Aplicado	0.00	2.2	2.2	kg/ha

Tabla 5. Resultados de la simulación del modelo SWAT con respecto a los fertilizantes en los escenarios con y sin incorporación de fertilizantes para la subcuenca del lago de Chapala.

El comportamiento de los compuestos nitrogenados y fosforados en la simulación, que es de esperarse se relacione con los escurrimientos, es el principal problema de la entrada de nutrientes a los ecosistemas acuáticos y la eutroficación: un proceso de degradación de la calidad del agua que se caracteriza por recurrentes crecimientos explosivos de algas, algunas de las cuales pueden ser tóxicas (Sickman et al., 2003). Estos, entre otros factores, causan alteraciones de las redes tróficas, pérdida de integridad ecológica, uso no seguro de los ecosistemas acuáticos y efectos detrimentales en la biodiversidad y las pesquerías (Paerl, 2009).

Los escurrimientos llegan al Lago de Chapala, y con esa cantidad de nutrientes se puede tener una tendencia a la eutroficación. De acuerdo con los nutrientes, el lago es efectivamente eutrófico, pero con poco crecimiento de algas en algunas zonas (De Anda y Sheir, 2001). La razón de lo anterior se debe a la gran cantidad de sedimentos suspendidos que limitan la disponibilidad de luz y la fotosíntesis (Lind et al., 1992). Otro aspecto que reduce la entrada de nutrientes de la cuenca propia es la presencia de lirio acuático en los drenes y canales, así como en los ríos Lerma y La Pasión.

En cuanto a los herbicidas, la simulación estimó una aplicación promedio anual de 408.1 g ha⁻¹ de principio activo, con una degradación de 342.1 g ha⁻¹. Para los plaguicidas se obtuvo un valor de 533 g g ha⁻¹ con una importante decadencia de 532.5 g ha⁻¹. Los pesticidas disueltos que entran a los canales, ríos y arroyos por las escorrentías son del orden de 1.7 g ha⁻¹ y los adsorbidos de 11.8 g ha⁻¹. La percolación de estos elementos en el perfil del suelo oscila alrededor de los 0.15 g ha⁻¹ y el flujo lateral que entra en los ecosistemas acuáticos es de 0.12 g ha⁻¹. La cantidad final de pesticida en las plantas resultó en 5.23 mg ha⁻¹ y en el suelo fue de 738.1 g ha⁻¹.

En el Tabla 6 se describe la cantidad aplicada de los diferentes pesticidas en la actividad agrícola. Dentro de los herbicidas más empleados se tiene el Paraquat con una categoría toxicológica II (producto moderadamente peligroso, nocivo). Su incorporación por escurrimiento superficial es de 797.3 mg ha⁻¹ disuelto y 11.4 g ha⁻¹ adsorbido. Su percolación en el perfil del suelo es muy baja (0.03 µg ha⁻¹). La Atrazina con categoría toxicológica IV (productos que normalmente no ofrecen peligro). Su incorporación se tiene por escurrimiento superficial disuelto y adsorbido (718.5 y 47 mg ha⁻¹, respectivamente) y una percolación de 16.8 mg ha⁻¹. La Dicamba con una categoría toxicológica IV. Su incorporación por escurrimiento superficial se estimó en 118.6 µg ha⁻¹ y una percolación al perfil del suelo de 1.2 mg ha⁻¹.

En el caso de los plaguicidas, se emplean principalmente el Clorpirifos etil con categoría toxicológica III (producto poco peligroso, cuidado). Se incorpora superficialmente de manera disuelta con 25.3 mg ha⁻¹ y adsorbido con 144.7 mg ha⁻¹, con una percolación de 0.01 µg ha⁻¹. Otro es el Paratión metílico con una categoría toxicológica I (producto muy peligroso, tóxico). Su incorporación superficial disuelta es de 20.9 µg ha⁻¹ y

absorbida 35.7 $\mu\text{g ha}^{-1}$, sin percolación.

Ingrediente activo	Aplicado (g ha^{-1})	Degradado (g ha^{-1})	Cantidad en Planta ($\mu\text{g ha}^{-1}$)	Cantidad en el terreno (g ha^{-1})
HERBICIDAS				
PARAQUAT	218.5	154.1	0.54	72.85
ATRAZINA	100.6	99.5	0.64	3.7
DICAMBA	53.2	53.2	0.46	0.0001
METSULFURON METIL	19	18.2	0	4.1
PICLORAM	9	9	0	1.1
GLUFOSINATO DE AMONIO	8.2	8.2	0	0.00002
PLAGUICIDAS				
CLORPIRIFOS	140.5	140.3	0.72	0.2
PARATION METILICO	127.3	127.3	0.65	0.00003
TERBUFOS	76.6	76.5	0	0.00001
MALATIO	57.8	57.8	0	0.00001
CIPERMETRINA	49.6	49.5	0.71	0.07
PERMETRINA	37.6	37.6	0	0.06
CARBOFURAN	19.7	19.5	0.81	0.4
LAMDA CYALOTRINA	14.3	14.3	0.7	0.02
DIMETOATO	9.6	9.6	0	0.00001

Tabla 6. Resultados de la simulación del modelo SWAT con respecto a los pesticidas (herbicidas y plaguicidas) para la subcuenca del Lago de Chapala.

Considerando los herbicidas mayormente empleados y su toxicidad, se tiene que para el Paraquat es moderada en aves, ligera a moderada en moluscos y zooplancton, ligera en crustáceos, prácticamente nula a moderada en peces y prácticamente nula a ligera en anfibios e insectos (INE, 2013). La Atrazina es ligera a moderadamente tóxica para anfibios, peces y otros organismos acuáticos. Sin embargo, en el ganado que ingiere alimento contaminado con Atrazina, se ha observado una toxicidad relativamente alta. En ambos pesticidas, sus efectos a largo plazo sobre peces y vida silvestre no es relevante debido a su degradación y bajo potencial de bioacumulación (INE, 2013).

En el caso de los plaguicidas, el Clorpirifos etil implica un grave riesgo para la vida silvestre, al ser extremadamente tóxico para peces e invertebrados acuáticos. En la descendencia de animales expuestos produce malformaciones y disminución de la sobrevivencia, crecimiento, reproducción y producción de biomasa, siendo especialmente afectadas las poblaciones de larvas de artrópodos y moluscos. En ecosistemas acuáticos reduce la diversidad y abundancia de especies (INE, 2013). El Paratión metílico en peces y zooplancton tiene una toxicidad de ligera a extremadamente alta. Según el INE (2013) “en aguas contaminadas puede reducir el crecimiento de las algas, aunque algunas especies pueden generar resistencia después de varias semanas de exposición. Los efectos de este plaguicida sobre las poblaciones de animales son poco probables en el campo. Sin embargo, pueden presentarse cuando se aplica a concentraciones elevadas.

Conclusiones

La simulación en la última década presenta coincidencias con fluctuaciones ambientales reflejadas en el Lago de Chapala y muestra una tendencia a la disminución de los escurrimientos en la subcuenca.

La simulación del modelo SWAT en un escenario futuro mostró fluctuaciones cíclicas bien definidas con una frecuencia aproximadamente decadal. Esto pudiera estar relacionado con elementos meteorológicos y climáticos como las manchas solares y los eventos de El Niño y La Niña. Algunas fluctuaciones son más intensas y persisten mayor número de años.

En cuanto a los agroquímicos que se dispersan por la subcuenca a partir de la contaminación difusa, los dos escenarios delatan una gran cantidad de nutrientes que se desplazan por los cuerpos de agua. Los cambios llegan a millares, lo que se puede relacionar con el uso excesivo y poco eficiente de estos elementos. La consecuencia directa es la posibilidad de causar problemas de eutroficación en los cuerpos de agua, que se ven atenuados por la gran cantidad de elementos en suspensión.

Los pesticidas también siguen una tendencia de implementación sin un control adecuado, lo que no sólo implica problemas de la gente que los aplica, sino que pueden afectar a los organismos terrestres y acuáticos, pues algunos de ellos, como el paratión metílico, tienen valores importantes de toxicidad.

Recomendaciones

Es importante el establecimiento de lugares de aforo que permitan una mejor estimación de la hidrología de la subcuenca, lo cual a su vez permitirá mejorar la calibración y validación del modelo. Dichos lugares son aquellas corrientes inmersas en el área de estudio (i.e., Río de La Pasión, Río Jiquilpan y canal de Sahuayo, etcétera).

Los modelos computarizados proveen un medio eficiente para probar predicciones a través de ecuaciones teóricas, dado que las simulaciones son más económicas que los estudios de campo. Sin embargo, cualquier estudio debe reflejar que se han identificado los parámetros más sensibles.

Los modelos físicos, como el SWAT, son más apropiados para calcular las tendencias a largo plazo, dada su sensibilidad a los aspectos climáticos, pero se debe tener la precaución de las dificultades que tienen para predecir o simular eventos extremos.

Resulta prioridad la implementación de una política y estrategia de manejo de los agroquímicos para reducir sensiblemente su impacto en el ambiente. Elementos técnicos pueden ser importantes en este proceso, desde los relacionados con la producción como aquellos que tienen que ver con la biorremediación. Si bien las características de los propios sistemas acuáticos tienden a atenuarlos, se puede llegar al nivel de saturación.

Literatura Citada

Alcocer-Durán, J., & Bernal-Brooks, F. W. 2009. Investigación ecológica a largo plazo en cuerpos acuáticos epicontinentales. *Revista Digital Universitaria*, 10(8), 1-14.

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *Journal of the American Water Resource Association*, 34(1), 73-89.

Arnold, J.G.; R. Srinivasan; R.S. Muttiah; P. M. Allen. 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. *J. Am. Water. Resour. As.* 34: 73-89.

Castellanos, J. Z., Uvalle, B. J., & A., A. S. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. México, D. F.: Colección INCAPA.

CEA (Comisión Estatal del Agua de Jalisco). (24 de noviembre de 2012). CEA Jalisco. Obtenido de Lago de Chapala: <http://www.ceajalisco.gob.mx/chapala.html>

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (30 de marzo de 2012). Sistema Meteorológico Nacional. Obtenido de Climatología: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=29&Itemid=93

Cotler, H., & Priego, A. 2006. El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Chapala.

Cuanalo de la Cerda, H. 1979. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, 30 pp.

De Anda, J., & Shear, H. (2001). Nutrients and eutrophication in Lake Chapala. En A. M. Hansen, & M. van Afferden, *The Lerma-Chapala Watershed. Evaluation and Management* (págs. 183-198). New York, NY: Kluwer Academic Press.

De Liñan, C. (2011). *Vademecum de agroquímicos de México*. México, D. F.: Editorial Tecnoagrícola de México, S. A. de C. V.

Dibike, Y., Prowse, T., Shrestha, R., & Ahmed, R. 2012. Observed trends and future projections of precipitation and air temperature in the Lake Winnipeg watershed. *Journal of Great Lakes Research*, 38(3), 72-82.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2004. *Good Agricultural Practices-a working concept*. Roma, Italia: FAO Gap Working Paper Series, 5.

Filonov, A. E., Tereshchenko, I. E., & Monzón, C. O. 2001. Hydro-meteorology of Lake Chapala. En A. M. Hansen, & M. Van Afferden, *The Lerma-Chapala Watershed. Evaluation and Management* (págs. 151-182). New York, NY: Kluwer Academic Press.

Gevaert, V., Van Griensven, A., Holvoet, K., Seuntjens, P., & Vanrolleghem, P. (2008). SWAT developments and recommendations for modelling agricultural

pesticide mitigation measures in river basins. *Hydrological Sciences Journal*, 53(5), 1075-1089.

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2011. Programa ERIC (Extractor Rápido de Información Climatológica). Jiutepec, Morelos: IMTA, CONAGUA.

INE (Instituto Nacional de Ecología). (12 de Enero de 2013). Sistema de consulta de Plaguicidas. Obtenido de <http://www2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/paraquat.pdf>

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias). (24 de marzo de 2012). SAGARPA, COFUPRO, INIFAP. Obtenido de Laboratorio nacional de Modelaje y Sensores Remotos: <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/>

Kalogeropoulos, K., & Chalkias, C. 2012. Modelling the impacts of climate change on surface runoff in small Mediterranean catchments: Empirical evidence from Greece. *Water and Environment Journal*, Publicado en línea: 5 noviembre 2012, DOI: 10.1111/j.1747-6593.2012.00369.x.

Kraemer, F.B. Chagas, C.I., Vázquez, A.G., Palacín, E.A., Santanatoglia, O.J., Castiglioni, M.G. y Massobrio, M.J. 2011. Aplicación del modelo hidrológico SWAT en una microcuenca agrícola de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 29: 75-82.

Lind, O. T., Doyle, R., Vodopich, D. S., G., T. B., Gualberto-Limon, J., & Davalos-Lind, L. (1992). Clay turbidity: Regulation of phytoplankton production in a large, nutrient-rich tropical lake. *Limnology and Oceanography*, 37(3), 549-565.

Llamas, J. 1977. *Hidrología para Ingenieros*. Ed. McGraw, Ed. 2, México, D.F.
López, W. 2007. Problemas de aprendizaje en la aplicación del enfoque sistemático a la gestión integrada en cuencas. 1-18.

Mason, I. M., Guzkowska, M. A., Rapley, C. G., & Street-Perrott, F. A. 1994. The response of lake levels and areas to climatic change. *Climatic Change*, 27(2), 161-197.

Mauas, P. D., Buccino, A. P., & Flamenco, E. 2010. Long-term solar activity influences on South American rivers. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics on Space Climate*, 1-13, DOI:10.1016/j.jastp.2010.02.019.

Neitsch, L., Arnold, G., Kiniry, R., Srinivasan, R., & Williams, R. 2010. *Soil and Water Assessment Tool. User's Manual, Version 2009*. College Station, TX: Texas Water Resources Institute Technical Report No. 365.

Neitsch, S.L.; J.G. Arnold; J.R. Kiniry; J.R. Williams. 2005. *Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation*. Grassland, Soil and Water Research Laboratory. Agricultural Research Service. Temple, EUA. 475 p

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (25 de enero de 2013). National Oceanic and Atmospheric Administration. Obtenido de NOAA's El Niño Page: <http://www.elnino.noaa.gov/>

Paerl, H. W. (2009). Controlling eutrophication along the freshwater–marine continuum: Dual nutrient (N and P) reductions are essential. *Estuaries and Coasts*, 32, 593-601, DOI: 10.1007/s12237-009-9158-8.

Palacios-Vélez, E., & López-López, C. 2004. La sobreexplotación de las cuencas hidrológicas: El caso de la cuenca del río de La Laja, Guanajuato. En H. Cotler, El Manejo Integral de cuencas en México (págs. 131-148). México, D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Saleh, A., Arnold, G., Gassman, W., Hauck, M., Rosenthal, D., Williams, R., & McFarland, S. (2000). Application of SWAT for the Upper North Bosque River Watershed. *Transactions of the ASAE*, 43(5), 1077-1087.

Sanchez, O. S. 2010. Caracterización morfométrica y simulación del balance de la cuenca “Tres Valles, S.L.P.”. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados. 161 p.

Shrestha, R., Dibike, Y., & Prowse, T. 2012. Modelling of climate-induced hydrologic changes in the Lake Winnipeg watershed. *Journal of Great Lakes Research*, 38(3), 83-94.

Sickman, J. O., Melack, J. M., & Clow, D. W. (2003). Enrichment of high-elevation lakes in the Sierra Nevada, California. *Limnology and Oceanography*, 48(5), 1885-1892.

Silva, O. 2010. Evaluación del modelo hidrológico SWAT en la cuenca media del río Pao en Venezuela.

Silva-García, J. T., Ochoa-Estrada, S., Cristóbal-Acevedo, D., & Estrada-Godoy, F. 2002. Calidad química del agua subterránea de la ciénega de Chapala como factor de degradación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24(4), 503-513.

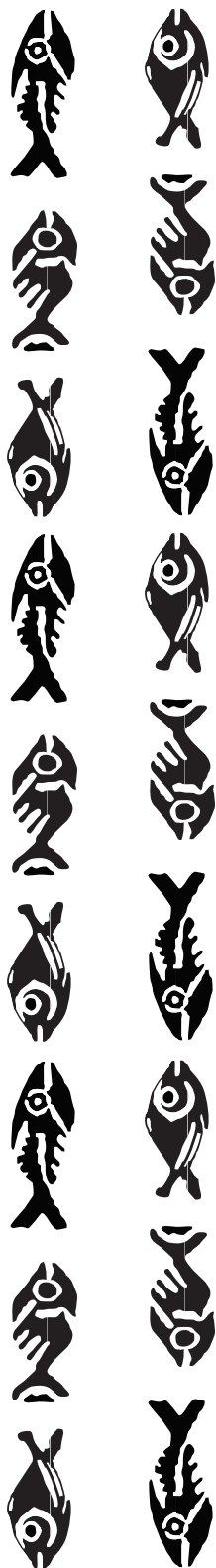
SMN (Sistema Meteorológico Nacional). (18 de marzo de 2012). SEMARNAT, CO-NAGUA, SMN. Obtenido de Selección de Opciones de Presentación en Mapas: <http://smn.cna.gob.mx/emas/>

SPSS 17.0. 2008. Command Syntax Reference. SPSS Inc., Chicago Ill.

Sturm, T. 2001. Open channel hydraulics. McGraw-Hill 493 pp.

Torres-Benites, E., Cotés-Becerra, J., Exebio-García, A., Mejía-Saenz, E., & Palacios-Vélez, E. 2005. Adaptación de un modelo de simulación hidrológica a la cuenca del río Laja, Guanajuato, México. *Agrociencia*, 39(5), 481-490.

White, M. W., Harmel, R. D., & Haney, R. L. 2012. Development and validation of the Texas Best Management Practice Evaluation Tool (TBET). *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(6), 525-535.





CAPÍTULO 7.-

PLATAFORMA DE PARTICIPACIÓN MÚLTIPLE PARA EL CONTROL DE CONTAMINACIÓN DIFUSA EN LA SUBCUENCA CHAPALA

Alejandro Juárez Aguilar (1), René Velázquez Moreno (1)

(1) Corazón de la Tierra-Instituto de Desarrollo Ambiental (²) corazondelatierra@gmail.com;
tecnicact@gmail.com

Resumen

Con el fin de verificar la factibilidad de reducir los volúmenes de suelo perdido por factores hídricos y el uso de agroquímicos en la subcuenca Chapala, se construyó una Plataforma de Participación Múltiple (PPM) que a partir de la caracterización y análisis de los grupos de actores en la zona y el nivel de conflicto-colaboración que guardan entre sí, identificó los enfoques óptimos para abordar el problema base y sus causas. Se determinó que existen condiciones para aplicar la PPM si el tema se aborda con los sectores agrícolas (de riego, temporal y ladera) bajo el enfoque de reducir la pobreza, mejorar el margen de ganancia agrícola y proteger la salud humana, destacando los incrementos tendenciales en los costos de producción agrícola y los riesgos a la salud de los propios agricultores, así como los posibles efectos por acumulación en aguas superficiales y subterráneas. La PPM se estructuró considerando una Estructura Base y una Estructura de Negociación, considerando las propuestas e intereses de los 53 actores identificados.

Palabras clave: Plataforma de Participación Múltiple, matriz de conflicto-colaboración, contaminación difusa.

Introducción

Las Plataformas de Participación Múltiple (Multistakeholder Platform) son un instrumento de planeación participativa, que permiten involucrar a diferentes grupos o sectores en el análisis y/o resolución de un tema de interés común mediante una estructura con fines y procesos definidos. Steins y Edwards (1999) definen las plataformas como un “cuerpo de toma de decisiones (de tipo voluntario o mandatorio) que incluye a diferentes actores que perciben el mismo problema de manejo de recursos, reconocen su interdependencia para lograr atenderlo y llegan a acuerdos sobre las estrategias de acción necesarias para resolverlo”.

Las Plataformas de Participación Múltiple (PPM) también son llamadas metodologías de Múltiples Grupos de Interés y se han utilizado en forma relativamente amplia en países de Europa, Asia y América Latina (Costa Rica y Bolivia, entre otros) si bien su uso en México ha sido bastante reducido. Es interesante verificar que uno de los campos de aplicación de las PPM es justamente la negociación sobre el uso de recursos acuáticos, un tema especialmente complejo por la diversidad de posturas y usos que suelen tenerse sobre el agua y por el rol crítico que representa este líquido para el desarrollo humano (Guerquin et al, 2003) como se reconoce en los Objetivos de Desarrollo del Milenio definidos por la Organización de las Naciones Unidas .

Como reporta Warner (2006) las PPM se han utilizado de forma

amplía para abordar el tema de la participación social en diferentes países en vías de desarrollo. Destaca su valor como espacio para la creación de visiones de conjunto y el intercambio de experiencias entre los actores. Con referencia al empleo de las PPM en el abordaje del tema del agua, Warner recomienda no limitarlo en forma exclusiva a dicho tema, ya que el mismo posee múltiples ramificaciones, tan variables como sus usos y su importancia dentro de los ecosistemas locales: transporte de nutrientes, control de inundaciones, mitigación de sequías, riego, actividades pesqueras, consumo humano y uso fabril, entre otras.

El diseñar la PPM en forma adecuada es clave para asegurar el éxito del instrumento. El primer paso consiste en identificar con claridad el tema a atender y de forma vinculada los actores que deben participar para que la plataforma funcione. En este sentido es primordial identificar los intereses de los diferentes grupos de actores y asegurarse que queden incluidos de forma clara en la PPM. Para algunos actores la participación y la obtención de información por sí mismas serán suficientes para asegurar su involucramiento e incluso que califiquen la experiencia como positiva, mientras otros querrán resultados específicos, acciones con resultados concretos. El grupo convocante debe tener claridad con respecto a los objetivos de la PPM y lo que esta puede alcanzar en forma realista en un tiempo determinado, clarificando tal información con los actores participantes.

Es conveniente evitar confundir la PPM con otras formas de consulta participativa, como foros, mesas de diálogo y mesas de concertación, que si bien tienen una lógica de involucramiento, carecen de la estructura que caracteriza a la PPM, la cual permite no sólo construir acuerdos para definir metas sino también llegar a la definición de responsabilidades y monitorear su cumplimiento.

Hay circunstancias que facilitan el desarrollo de una PPM, en particular cuando el reto de manejo es inmediato y urgente como en los casos “en que la interdependencia entre sectores es obvia. En Holanda, por ejemplo, la falta de participación de aún un pequeño propietario puede obstaculizar el sistema comunal de control y mantenimiento de diques. Esto es crítico al tratarse de un país cuya mitad de superficie está bajo el nivel del mar” (Warner, 2005). Por otra parte, los factores que suelen obstaculizar el desarrollo de una PPM son, entre otros, la existencia de relaciones inequitativas de poder entre los participantes (lo que hace dispar el proceso de negociación, a menos que se definan mecanismos de compensación); la adecuada representación de los actores (en términos de número y representatividad real, esto es, que el liderazgo de los representantes esté respaldado por los integrantes de su sector); la capacidad para participar de forma efectiva en los debates; y la funcionalidad de los mecanismos de toma de decisiones. Por último, está el relativo al costo de implementación de la PPM y a cuál instancia o sector puede asumirlo.

Antecedentes

A nivel internacional las PPM son percibidas por instancias internacionales, entre otras las agencias de la ONU, como “una innovación para la solución de problemas institucionales, para democratizar el manejo del agua... y realizar manejo de conflictos” (Warner, 2006) por lo cual su aplicación se ha popularizado, especialmente en países de África y Asia (Sultana y Thompson, 2003; IDRC, 2009).

La utilización de las PPM como tal ha sido escasa en la cuenca Lerma-Chapala, si bien es común el uso de otros instrumentos como evaluaciones rurales participativas, ordenamientos territoriales comunitarios, foros y actividades de consulta, con diferentes grados de profundidad. Existen cuatro proyectos previos en los que se aplicaron PPM en la cuenca, en el primero se reporta el uso de dicha estructura en diversos momentos de diagnóstico comunitario (en particular para facilitar la organización campesina con referencia a tres problemas identificados como prioritarios; Juárez y Velázquez, 2007), uno más como parte de un proyecto de diagnóstico de gobernanza ambiental en tres subcuencas, localizadas en Guanajuato, Michoacán y Jalisco-Michoacán (Juárez, 2011) y dos en la zona aledaña al Lago Chapala, estas últimas realizadas con comunidades campesinas de la Sierra Cóndiro-Canales (Jalisco). La primera se estructuró para establecer Comités de Desarrollo Sustentable que articularan los esfuerzos de los pobladores para proteger y realizar un manejo sustentable de su área forestal y el segundo para crear una red de comercialización de productos bajo el esquema de comercio solidario (Juárez y Enríquez, 2012). Ambas experiencias aportaron información valiosa sobre la estructura organizativa y conceptual del sector agrícola del área, que resultaron valiosas como puntos de comparación para los resultados obtenidos en el presente estudio.

Materiales y métodos

La PPM construida para el presente estudio utilizó como referente el modelo planteado por Faysse y Vladimir (2005), el cual parte de un problema común que afecta a varios actores, cuya postura puede variar de un desacuerdo leve a un conflicto abierto entre partes; o bien tratarse de una medida preventiva para evitar que un conflicto potencial se convierta en uno abierto y en proceso de crecimiento. El modelo referido se aplicó en Bolivia, en condiciones socioculturales y de conflicto con similitudes a las encontradas en la subcuenca Chapala. Sobre dicha base metodológica se realizaron ajustes, retomando las lecciones de las PPM previamente aplicadas en la cuenca Lerma-Chapala, en particular la utilizada para realizar diagnósticos de gobernanza ambiental (Juárez, 2011) y las experiencias en la Sierra Cóndiro-Canales (Juárez y Enríquez, 2012).

La identificación de los actores se hizo con base a un problema central (la contaminación difusa), siendo éste subdividido en dos componentes: contaminación por sólidos (sedimentos generados por erosión) y contaminación por agroquímicos (fertilizantes y pesticidas). Así se identificó a todo actor o grupo de actores involucrados en el problema, ya fuese en la práctica o en términos formales.

Con base en la identificación de los grupos de actores se realizó la caracterización de los mismos mediante fichas descriptivas, en las que se incluyeron apartados sobre los integrantes, nivel de influencia, visiones e intereses, tipo de liderazgo, mandatos, y uso del territorio. La información de los grupos de agricultores se colectó de las encuestas aplicadas como parte del proyecto, como se describe en el Capítulo 4, además de dos talleres sectoriales con agricultores (realizados en 2011) y el análisis de estudios previos realizados en la zona; para el resto de actores se colectó información de entrevistas estructuradas (aplicadas principalmente con instancias gubernamentales), de las ponencias del simposio “Contaminación Difusa en la subcuenca Chapala” realizado en enero de 2011 y del taller “Políticas de Manejo en la subcuenca Chapala (Jalisco-Michoacán)” realizado en enero de 2012, ambos como parte de este proyecto. Finalmente, se analizaron datos estadístico-demográficos (INEGI, 2010) y se tomaron datos proporcionados por cada actor en sus páginas web (principalmente en lo tocante a mandatos, visiones y posturas).

La construcción de la Matriz de Conflicto-Colaboración se realizó modificando el modelo de Grimble et al., (1995), utilizado para el análisis de condiciones de conflicto sobre todo en temas de manejo de agua (Inciarte, 2009). La principal modificación fue con relación a la confluencia de temas, los cuales se desglosaron en sus componentes. Por ejemplo: en lugar de sólo identificar el nivel de conflicto-colaboración con relación a un tema (Pesticidas) se identificaron temas derivados del mismo (salud humana, efectos en ecosistemas, costos de producción agrícola, etc.). De dicha forma aunque se presentara conflicto en términos del tema principal podían darse confluencias con relación a los secundarios, lo que facilitó la construcción de la Plataforma de Participación Múltiple, al identificar aspectos de interés común para los diferentes sectores.

Resultados

Se identificó un total de 53 actores vinculados al tema de contaminación difusa, los cuales fueron agrupados en 5 sectores (de acuerdo a su enfoque y actividades). En la Tabla 1 se muestran los sectores Productivo, Grupos de investigación y Consejos/comisiones; mientras la Tabla 2 muestra el Sector gubernamental y de Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC).

Sectores	Actores en el sector	Número total
Sector productivo	<ul style="list-style-type: none"> • Distritos de riego • Cooperativas • Ganaderos • Ejidos • Comunidades indígenas • Comercializadores de agroquímicos • Agricultores de ladera • Productores orgánicos • Productores de invernadero 	9
Grupos de investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Universidad de Guadalajara. • Texas State University • Universidad Autónoma de Guadalajara • Colegio de Michoacán • Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente • Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo • Universidad Veracruzana. • Baylor University-Texas • Instituto Politécnico Nacional -CIIDIR Jiquilpan • Universidad Nacional Autónoma de México-UAER • Corazón de la Tierra -Instituto de Desarrollo Ambiental. • International Lake Environment Committee Foundation. 	12
Consejos/comisiones	<ul style="list-style-type: none"> • Comité Estatal para la Protección Ambiental de los Humedales de Jalisco • Fideicomiso para el Desarrollo de la Región Centro-Occidente • Comisión Ramsar • Consejo de Cuenca Lerma-Chapala • Red de Subcuencas Lerma-Chapala 	5
Total		26

Tabla 1. Actores identificados en la subcuenca Chapala (sector Productivo, Grupos de investigación y Consejos/comisiones).

Como se observa, ciertos actores funcionan en forma grupal, como es el caso de “Ejidos” y “Gobiernos municipales”. El análisis de conflicto-colaboración requirió agrupar de forma más fina a los actores para finalmente contar con 16 grupos de actores específicos. Esto se realizó tomando en cuenta los mandatos específicos y el nivel de influencia de cada actor (ver Tabla 4).

Sectores	Actores en el sector	Número total
Organizaciones de la sociedad civil (OSC)	<ul style="list-style-type: none"> • Instituto de Derecho Ambiental • Sociedad de Amigos del Lago • Luz de Malla • Fundación Lerma-Chapala-Santiago • Living Lakes Foundation • Clubes rotarios 	6
Instancias de gobierno	<ul style="list-style-type: none"> • Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales • Comisión Nacional Forestal • Secretaría de Desarrollo Social • Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable (Jalisco) • Secretaría de Desarrollo Rural (Jalisco) • Congreso federal • Congreso de Jalisco • Congreso de Michoacán • Comisión Estatal de Derechos Humanos (Jalisco) • Comisión Estatal del Agua (Jalisco) • Comisión Estatal del Agua y Gestión de Cuencas (Michoacán) • Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad • Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología • Instituto Nacional de Ecología • Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación • Comisión Nacional Forestal (Michoacán) • Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (Michoacán) • Consejo de Planeación para el Desarrollo (Michoacán) • Gobiernos municipales (Jalisco). • Gobiernos municipales (Michoacán). • Asociación Intermunicipal para el Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala 	21
	Total	27

Tabla 2. Actores identificados en la subcuenca Chapala (sector Gubernamental y OSC).

Con relación al espacio físico donde se localizan dichas instituciones, se encontró lo siguiente:

Espacio de localización	Cantidad
Áreas rurales (en municipios)	10
Cabeceras municipales	8
Capitales estatales	17
Ciudad de México y otros estados	14
Extranjero	5




Tabla 3. Ubicación espacial de los actores ligados al tema de contaminación difusa.

Lo anterior significa que del total de actores identificados, 67% no se localizan en la propia área de trabajo. Sin embargo el peso que tienen en término de las acciones que se desarrollan en la misma puede ser determinantes, como la definición de políticas agrícolas y la emisión o no de programas de apoyo, por ejemplo.

Las posturas de los actores con respecto a diferentes temas relacionados con la contaminación difusa se muestran en la Tabla 4. Es importante destacar que la coincidencia o no entre actores se da en términos de posturas, lo que significa que aunque haya discrepancia sobre un tema particular no necesariamente existe un conflicto en el plano físico, aunque el potencial para ello esté presente. Como se mencionó en forma previa las posturas de los actores se determinaron a partir de la recolección documental y directa de dicha información. Asimismo es necesario clarificar que la matriz muestra las posiciones dominantes del grupo de actores. Por ejemplo, entre los agricultores de riego un 9% ve como algo positivo la reducción del uso de fertilizantes y pesticidas; sin embargo la postura mayoritaria es en contra, por lo que así fue planteada para la construcción de la matriz.

POSTURAS POR SECTOR

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
a	En contra	En contra	En contra	A favor										A favor		
b	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor									
c	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor						A favor	
d	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor						A favor	
e	En contra	En contra	En contra	A favor												
f	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor
g			En contra	A favor				A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor
h			En contra	A favor				A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor
i	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor
j							A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor
k										A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor
l	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor	A favor

	A favor
	Indiferente
	En contra

a	Reducción de pesticidas
b	Control efectivo de plagas
c	Aumento de rentabilidad
d	Recuperación de fertilidad
e	Reducción de fertilizantes
f	Control de la erosión
g	Reducción de deforestación
h	Controlar cambio uso de suelo
i	Reducción de pobreza
j	Asegurar calidad del agua
k	Protección de flora y fauna
l	Protección a la salud humana

1	Agricultores de riego
2	Agricultores de temporal
3	Agricultores de ladera
4	Agricultores orgánicos
5	SAGARPA
6	Desarrollo rural-Mich. y Jal.
7	Gobiernos municipales
8	CONAGUA
9	CEA Mich y Jal
10	CONAFOR
11	COFOM
12	SEDESOL
13	Desarrollo social-Mich y Jal.
14	OSC
15	Universidades-investigación
16	Organismos internacionales

Tabla 4. Posturas de los actores sobre temas de contaminación difusa.

La tabla muestra que existe rechazo por parte de los agricultores de riego, temporal y ladera sobre reducir el uso de pesticidas y fertilizantes: su percepción es que eso amenazaría su nivel de producción y por tanto les afectaría económicamente. El tema resulta indiferente al conjunto de instancias gubernamentales, lo que indica falta de información sobre los riesgos derivados tanto para el ambiente como a la salud humana. Los únicos temas que generan acuerdo de todos los actores son los referentes al combate a la pobreza y la protección a la salud humana, por lo que el tema de reducción de pesticidas debería abordarse bajo ese enfoque, destacando los incrementos tendenciales en los costos de producción agrícola y los riesgos a la salud para los propios agricultores, además de los posibles efectos por acumulación de sustancias en las aguas superficiales y subterráneas.

Una vez identificadas las posturas se procedió a la construcción de la Matriz de Conflicto-Colaboración. Dada la complejidad del tema se estructuraron dos matrices específicas, una relativa a “Reducción de uso de agroquímicos” y otra a “Control de la erosión”.

NIVEL DE COINCIDENCIA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		☒	☒	☒	n	n	n	n	n	n	n	n	n	☒	n	n
2	☒		☒	☒	n	n	n	n	n	n	n	n	n	☒	n	n
3	☒	☒		☒	n	n	n	n	n	n	n	n	n	☒	n	n
4	☒	☒	☒		n	n	n	n	n	n	n	n	n	☒	n	n
5	n	n	n	n		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
6	n	n	n	n	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
7	n	n	n	n	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
8	n	n	n	n	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
9	n	n	n	n	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
10	n	n	n	n	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒
11	n	n	n	n	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒
12	n	n	n	n	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒	☒
13	n	n	n	n	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒
14	☒	☒	☒	☒	☒	n	n	n	n	n	n	n	n		n	n
15	n	n	n	n	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
16	n	n	n	n	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒

☒	Coinciden en oposición
☒	Coinciden (indiferencia)
☒	Coinciden en reducir agroquímicos
n	Neutro
☒	Conflicto

1	Agricultores de riego
2	Agricultores de temporal
3	Agricultores de ladera
4	Agricultores orgánicos
5	SAGARPA
6	Desarrollo rural-Mich. y Jal.
7	Gobiernos municipales
8	CONAGUA
9	CEA Mich y Jal
10	CONAFOR
11	COFOM
12	SEDESOL
13	Desarrollo social-Mich y Jal.
14	OSC
15	Universidades-investigación
16	Organismos internacionales

Tabla 5. Matriz de Conflicto-Colaboración (Reducción de agroquímicos).

La matriz muestra en forma clara el rechazo hacia la reducción de agroquímicos del sector agrícola de riego, temporal y ladera, contrapuesta a la postura de los agricultores orgánicos y las OSC. El sector gubernamental no se opone al uso de los pesticidas, aparentemente por considerar de poca importancia sus efectos negativos en relación al aseguramiento de volúmenes de producción de alimentos. Hay concordancia de las agencias gubernamentales entre sí con respecto a no tener una postura activa hacia la reducción del volumen de estos productos.

En cuanto al tema “Control de la erosión” este genera una mayor confluencia a favor entre los sectores, entre estos los agricultores (de riego, temporal, ladera y orgánicos), el sector gubernamental forestal (CONAFOR y COFOM), el vinculado al ramo agropecuario (SAGARPA y gobiernos estatales) y los municipios, además de las OSC e instancias de investigación. Quienes mantienen una postura de indiferencia son las instancias gubernamentales ligadas a aspectos sociales (a nivel federal y estatal), probablemente por no verlo como un aspecto de relevancia para sus actividades.

Con base a lo anterior se construyó la Plataforma de Participación Múltiple, considerando los elementos requeridos para su composición:

una Estructura Básica (Objetivos, Alcances, Composición) y una Estructura de Negociación (Líneas de acción y Estructura de negociación), así como la identificación de las características de dos componentes claves para su aplicación: el Grupo convocante del proceso y el Facilitador (Figura 1).

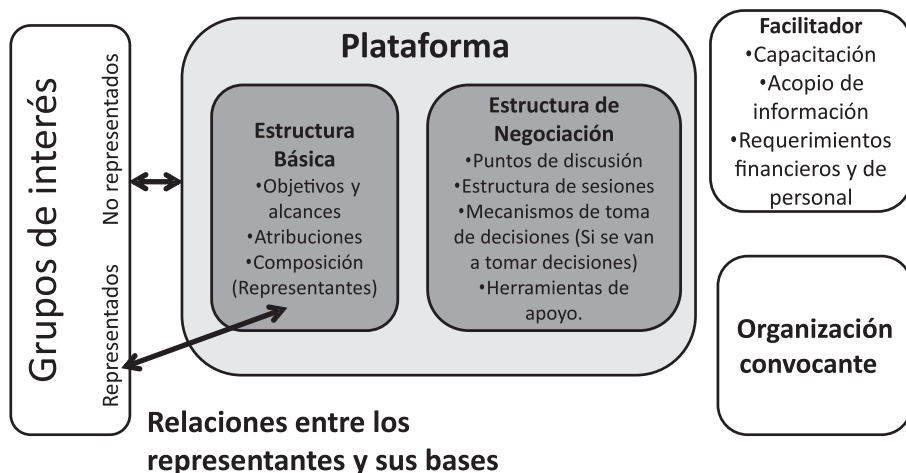


Figura 1. Estructura de la Plataforma de Participación Múltiple.

El **Problema** a abordar quedó estructurado en tres componentes: a) Pérdida de suelo, b) Uso excesivo de fertilizantes químicos, y c) Uso excesivo de pesticidas.

Las **Causas** de los mismos fueron definidas cómo se muestra en las Tabla 6. Lo anterior con datos reportados por Juárez et al, 2002; Juárez et al, 2003 y Juárez et al, 2003b; y corroborado en los talleres sectoriales realizados con agricultores y el taller “Políticas de Manejo en la subcuenca Chapala (Jalisco-Michoacán)”, realizado como parte del presente proyecto.

La **Evaluación ex ante** sobre la necesidad de aplicar la PPM (tomando en cuenta los resultados reportados por los grupos de investigación en los restantes capítulos del libro, así como los talleres sectoriales realizados) arroja las siguientes conclusiones:

- Existe un incremento en la pérdida de la fertilidad del suelo y una tendencia al aumento en el uso de agroquímicos.
- Los agricultores del área reportan el uso combinado de pesticidas para lograr controlar plagas que anteriormente eran susceptibles a un solo producto, lo que indica un aumento de la resistencia de las mismas y marca una tendencia hacia el uso continuado de sustancias tóxicas.
- La pérdida de suelo es elevada (en particular en cultivos de ladera) y aumenta la fragilidad de los sistemas productivos de la región.
- 50% de las sustancias activas de pesticidas identificadas en el estudio son de alta toxicidad para el plancton (base de las redes tróficas acuáticas), y/o peces y aves.
- Los peces y aves del lago son prioritarios para su conservación, siendo

uno de los elementos básicos para mantener la categoría de Humedal de Importancia Internacional (Sitio Ramsar) del Lago Chapala. 35 especies de vertebrados con presencia en la subcuenca tienen categoría de protección nacional y/o internacional (Juárez et al, 2010).

- Hay presencia de grupos bien organizados (agricultores de riego), de escasa/media organización (temporal) y muy desorganizados (campesinos de ladera).
- Hay un grupo creciente de practicantes de agricultura orgánica, varios de ellos bien identificados y reconocidos en la región.
- Hay presencia en forma permanente de instancias de investigación, tanto en Jalisco (UdeG, CETAC, CdeT) como en Michoacán (IPN, UNAM), además de antecedentes de instancias internacionales que participaron en proyectos en el área.
- Existe interés expresado por los gobiernos municipales en atender la problemática, aunque se manifiesta escasez de recursos para abordarla directamente.

Componentes del Problema	Causas
Pérdida de suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos en zonas de alta pendiente. • Pérdida de superficie forestal. • Carencia de actividades de conservación de suelo. • Pérdida de conocimiento de cultivos tradicionales. • Desconocimiento de efectos y magnitud del problema.
Uso excesivo de fertilizantes químicos	<ul style="list-style-type: none"> • Carencia de actividades de conservación de suelo. • Falta de asesoría y capacitación. • Promoción institucional del uso de agroquímicos. • Pérdida progresiva de la fertilidad del suelo. • Desconocimiento de efectos de los fertilizantes en los ecosistemas acuáticos. • Falta de regulación específica sobre uso de agroquímicos.
Uso excesivo de pesticidas	<ul style="list-style-type: none"> • Desconocimiento de efectos tóxicos de los productos. • Promoción institucional del uso de agroquímicos. • Pérdida de conocimiento de alternativas para control de plagas. • Falta de asesoría y capacitación. • Falta de regulación específica sobre uso de pesticidas.

Tabla 6. Componentes y causas de la problemática.

La conclusión es que, en efecto, la aplicación de la PPM para abordar el tema de contaminación difusa es importante y existen las condiciones básicas para su realización.

Los **Objetivos y Alcance** de la PPM planteada serían los siguientes:

1. Reducir la pérdida de suelo agrícola.
2. Mejorar el margen de ganancia por las actividades agrícolas.
3. Reducir la afectación de agroquímicos a la salud de productores y pobladores de la región.
4. Proteger a especies de peces y aves prioritarias, así como los ecosistemas acuáticos.

El **Alcance territorial** se plantea en tres espacios: el primero en la vertiente noreste de la subcuenca (Ocotlán, La Barca, Jamay y Poncitlán-en Jalisco), la segunda en la vertiente sureste (Briseñas, Sahuayo, Venustiano Carranza, Jiquilpan y Cojumatlán-en Michoacán) y la tercera en la sección oeste (Chapala, Jocotepec, Tuxcueca y Tizapan el Alto- en Jalisco). Lo anterior con base en afinidades productivas, organizativas y culturales, lo que aumenta la posibilidad de involucramiento de sectores así como la definición de metas alcanzables y verificables por los propios participantes.

Las **Líneas de Acción** serían a) Mejoramiento de la fertilidad del suelo, b) Control efectivo de pesticidas de alta toxicidad, b) Capacitación y Asesoría técnica, d) Monitoreo, e) Comunicación.

Con este enfoque la **Composición** de la PPM se definió en términos de acción: los grupos de actores participantes serían aquellos que puedan incidir en actividades de solución de los componentes del problema, asumiendo y cumpliendo responsabilidades específicas. Dado que no existe una regulación de cumplimiento obligatorio sobre la conservación de suelos agrícolas y el uso de agroquímicos, la participación sería de tipo Voluntario, basada en el interés de los grupos por resolver los aspectos de la problemática que les afectan y/o por la percepción de que recibirán beneficios del proceso. De ahí la importancia de plantear el tema de reducción de agroquímicos bajo la óptica de mejorar el margen de rendimiento económico y proteger la salud humana, empezando por la de los propios agricultores. Los Grupos de Interés (GI) Representados serían los agricultores (de riego y temporal), instancias de gobierno (estatal/federal y municipios), universidades y OSC.

La **Estructura de negociación** plantea la participación de dueños y usuarios de terrenos agrícolas, así como de instancias de gobierno municipales (direcciones de desarrollo agropecuario o similares) y estatal/federal (secretarías de desarrollo agrícola/rural) dentro de un Grupo de Trabajo (figura con antecedentes de éxito en el área, como el Grupo de Planeación Agrícola Integral que funcionó entre 2000-2003, entre otros casos). Dicho Grupo de Trabajo sería apoyado por un Consejo Técnico y de Investigación compuesto por universidades y grupos de gobierno estatal/federal liga-

dos al tema ambiental; asimismo funcionaría un Consejo Ciudadano compuesto por organizaciones civiles y otros grupos de actores interesados. Ambos consejos contarían con representación en el Grupo de Trabajo. El número de participantes por cada grupo de actores se definiría de forma tal que se evite una sobrerrepresentación que pudiese afectar la toma de decisiones en el proceso.

El **Facilitador** del proceso debe ser una institución percibida como neutral, con capacidad de favorecer la construcción de acuerdos, tener conocimiento del área y los grupos de trabajo y experiencia en trabajo con el sector agrícola.

En cuanto al **Convocante** se plantea que sea una o varias instancias gubernamentales ligadas al tema por razón territorial (municipios) o temática (estatal o federal). Dado que se trabajaría en tres espacios puede haber varios grupos de convocantes, lo que depende del interés y presupuesto disponibles para la operación de la PPM. Es importante que exista intercambio de información y experiencias entre los proyectos, trabajándose de forma vinculada. Se sugiere realizar un foro informativo al inicio de cada PPM para presentar la estructura de la misma, reducir los sesgos de información e involucrar a los Grupos de Interés que no participen de forma directa (GI No Representados).

Conclusiones

El tema abordado en la Plataforma de Participación Múltiple es complejo y su solución requiere acciones por parte de varios actores que no se encuentran en el espacio de trabajo, en lo particular en lo referente a marcos de regulación. Sin embargo, la PPM ofrece la oportunidad de conseguir cambios en plazos más reducidos y con la retroalimentación constante por parte de los propios participantes para afinar el modelo de participación. De forma complementaria debe informarse de forma amplia al sector gubernamental con respecto a los tipos de sustancias reportadas para el área, el volumen de las mismas y sus posibles efectos, con el fin de avanzar en la mejora de los marcos legales vigentes.

Literatura Citada

Faysse, N. and V. Vladimir. 2005. Cochabamaba, Bolivia. A Methodology for Intervention in the design and evaluation of a short-term Multi-Stakeholder Platform. Working Paper 2, NEGOWAT Project. 21 pp. <http://r4d.dfid.gov.uk/Output/175624/Default.aspx>

Grimble, R. M.K. Chan, J. Ablionby and J. Quan. 1995. Trees and trade-offs: a stakeholder approach to natural resource management. International Institute for Environment and Development. Gatekeeper Series No. 22

Guerquin, F., T. Ahmed, M. Hua, T. Ikeda, V. Ozbilen and M. Schuttelaar. 2003. World Water Actions, Making Water Flow for All. World Water Council/Japan Water Resources Association/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Marseille, France. 165 pp.

Juárez, A., M.E. Reyes, E. Montaña, R. Velázquez, I. Gálvez. 2002. Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca San Marcos, municipio de Chapala. Fideicomiso de Riesgo Compartido/Ayuntamiento de Chapala/Corazón de la Tierra, A.C. 68 pp.

Juárez, A., R. Velázquez, M. Váldez, E. Montaña. 2003. Actualización del Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca Rancho Viejo, municipio de Ocotlán. Fideicomiso de Riesgo Compartido/Ayuntamiento de Ocotlán/Corazón de la Tierra, A.C. 73 pp.

Juárez, A., R. Velázquez, M. Váldez, E. Montaña. 2003b. Actualización del Plan Rector de Producción y Conservación de la Microcuenca Cóndiri, municipio de La Barca. Fideicomiso de Riesgo Compartido/Ayuntamiento de La Barca/Corazón de la Tierra, A.C. 73 pp.

Juárez, A y R. Velázquez. 2007. Sistematización de la metodología de manejo forestal comunitario en la Sierra Cóndiri-Canales. Instituto de Desarrollo Social/Corazón de la Tierra, A.C. Jalisco, México 144 p.

Juárez, A. 2011. Diagnóstico de gobernanza ambiental en tres subcuencas de la cuenca Lerma-Chapala. Instituto de Desarrollo Social/Corazón de la Tierra, A.C. Jalisco, México 112 p.

Juárez A. y L.E. Enríquez. 2012. La Red de Comercio Solidario de la Sierra Cóndiri-Canales, una experiencia de fortalecimiento participativo. Informe final de proyecto. Instituto Nacional de las Mujeres/Corazón de la Tierra, A.C. Jalisco, México

Inciarte Durán, L. 2009. Análisis de conflictos socio-ambientales, represa El Cercado-Río Ranchería. Reporte Técnico Final. Corporación Autónoma Regional de la Guajira. Colombia.

Steins, N.A. and V.M. Edwards. 1999. Synthesis: Platforms for collective actions in multiple-use common-pool resources. *Agriculture and Human Values*: 16, 309-315. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.



Sultana, P. and P. Thompson. 2003. "Methods of Consensus Building for Community Based Fisheries Management in Bangladesh and the Mekong Delta". CAPRI Working paper No. 30. CGIAR Systemwide Program on Collective Action and Property Rights, International Food Policy Research Institute, Washington. <http://www.capri.cgiar.org>



The International Development Research Centre. 2009. "Multi-Stakeholder Based Natural Resource Management". In: Participatory Research and Development for Sustainable Agriculture and Natural Resource Management: a Sourcebook. The International Development Research Centre, Canada. <http://www.idrc.ca>



Warner, J. 2005. Multi-Stakeholder Platforms: integrating society in water resource management? *Ambient and Society*. Vol. 8, No. 2, December 2005. On-line versión ISSN 1809-4422



Warner, J. 2006. More Sustainable Participation? Multi-Stakeholder Platforms for Integrated Catchment management. *International Journal of Water Resources Development*; Volume 22, Issue 1, pages 15-35)



CAPÍTULO 8.-

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Alejandro Juárez Aguilar (1), Teodoro Silva (2), Laura Dávalos-Lind (3), Rodrigo Moncayo (2), Salvador Ochoa Estrada (2), Owen T. Lind (5), René Velázquez Moreno (1), Adalberto Díaz Vera (4), Francisco Quintero Miranda (4).

(1) Corazón de la Tierra-Instituto de Desarrollo Ambiental. Ramón Castañeda # 979, C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco. Tel 52+3338251361 corazondelatierra@gmail.com

(2) Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Michoacán. Justo Sierra No. 28, C. P. 59510, Jiquilpan, Michoacán. Tel: 3535330218.

(3) Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO) Universidad Veracruzana, 228 8100603 y Baylor University(2)254 7102139 laura_davalos-lind@baylor.edu

(4) Especialista privado.

(5) Center for Reservoir and Aquatic Ecosystems Research (CRASR) Baylor University (2) owen_lind@baylor.edu 254 7102179.

A partir del conjunto de resultados obtenidos por los equipos de investigación que participaron en el proyecto y tras analizar los datos y el proceso tendencial que los mismos muestran, se plantean los siguientes puntos: Existe un uso elevado de pesticidas en las zonas agrícolas aledañas al Lago Chapala, incluyendo sustancias clasificadas como Extremadamente tóxicas como el paration metílico y el aldrín. Del total de 41 sustancias activas reportadas en los pesticidas reportados, 23 tienen efectos de alto nivel sobre plancton, peces y aves, de acuerdo a diversos reportes científicos y al propio gobierno federal mexicano. Lo anterior implica riesgos de afectación a la comunidad de plancton, base de la cadena trófica del Lago Chapala; así como afectaciones directas e indirectas a especies nativas de peces (varios endémicos, como el bagre de Chapala *Ictalurus dugesii*, así como ocho especies de charales y peces blancos *Chirostoma (Menidia) spp.* además de aves migratorias y residentes con categoría de protección a nivel nacional y/o internacional. Los pesticidas podrían estar afectando el volumen de pesquerías del Lago Chapala, con efectos económicos y sociales hacia los grupos locales dedicados a esta actividad. Asimismo existen riesgos de afectación a la salud humana. El efecto específico de dichos productos en el ecosistema del Lago Chapala y sus afluentes es hasta ahora desconocido.

Los agroquímicos son empleados en la zona incluso por encima de las concentraciones recomendadas por los fabricantes, lo que revela la escasa capacitación y asesoramiento técnico para el uso de los mismos. El uso de fertilizantes es elevado (del orden de 25,000 toneladas anuales) en un panorama de pérdida en fertilidad del suelo, lo que genera un efecto de pauperización del sector agrícola e incluso abandono de las actividades productivas por parte de los grupos de menores recursos. Los cultivos de ladera (ecuaros) utilizan la mayor cantidad de agroquímicos por hectárea y pierden mayor suelo por erosión hídrica (600% más que el cultivo de temporal). Casi el 50% del suelo agrícola perdido por acción hídrica es aportado por estas zonas, que se encuentran en espacios desmontados y de alta pendiente. Los ecuaros son cultivados por los sectores campesinos de menores recursos, los cuales tienen asimismo muy bajo nivel de organización.

La pérdida de suelo en la subcuenca (de más de 100,00 toneladas para el período de estudio, y calculado en hasta cuatro veces más para años de lluvia intensa) es ocasionada principalmente por el cambio de uso de suelo (de forestal a agrícola - pastoreo): el análisis de los datos indica que dicha tendencia tiende a aumentar. Esto reduce la fertilidad del suelo y genera azolve que afecta la capacidad de ríos, presas y el Lago de Chapala para almacenar agua, con efectos económicos, productivos y ecológicos importantes. Los resultados muestran la importancia estratégica de conservar las zonas forestales para proteger el suelo forestal y reducir el

volumen de azolve generado, así como la urgencia de mejorar las prácticas de conservación de suelo agrícola.

A pesar del alto volumen de nitrógeno y fósforo aportados por las actividades agrícolas y urbanas y que son arrastrados por la lluvia, el Lago Chapala se encuentra en un estado oligotrófico-mesotrófico (nivel medio-bajo), ya que debido a la baja penetración de luz en el agua (resultado de la alta presencia de sólidos suspendidos) estos nutrientes no son utilizados plenamente por las algas. Se desconoce el punto de saturación de los sedimentos: es posible en el mediano plazo un cambio brusco de las condiciones del lago.

La aplicación de una Plataforma de Participación Múltiple (PPM) para reducir los volúmenes de erosión hídrica y uso de agroquímicos es factible, existiendo condiciones para su aplicación a pesar de que el planteamiento de reducir el uso de fertilizantes y pesticidas es percibido como negativo por parte de los sectores agrícolas de riego, temporal y ladera: dicha postura se basa en la percepción de que se amenazaría el nivel de producción y por tanto el ingreso económico por esta actividad. Sin embargo existe acuerdo de dichos grupos así como del resto de actores identificados sobre la necesidad de reducir la pobreza, mejorar el margen de ganancia agrícola y proteger la salud humana, por lo que la PPM tendría que plantearse bajo esta lógica, destacando los incrementos tendenciales en los costos de producción agrícola y los riesgos a la salud de los propios agricultores, así como los posibles efectos por acumulación en aguas superficiales y subterráneas. Dado que en este momento la problemática resulta indiferente al conjunto de instancias gubernamentales, se plantea la necesidad de difundir entre este sector los resultados del proyecto de investigación, así como de implementar actividades de capacitación sobre el tema.

Resulta altamente recomendable aprovechar el conocimiento de los agricultores orgánicos asentados en la subcuenca (con presencia y reconocimiento crecientes) para favorecer el involucramiento de los restantes grupos agrícolas, así como involucrar a los grupos ambientalistas en el proceso para evitar su polarización y con ello favorecer la construcción de consensos y la implementación de acciones efectivas.

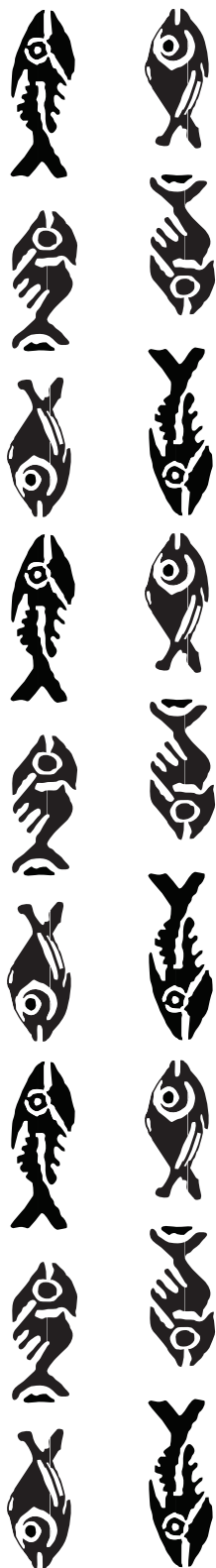
El manejo adecuado de los ecosistemas terrestres y acuáticos es prioritario, tanto por la presencia de especies amenazadas y/o en peligro de extinción como por el valor prioritario de la subcuenca, reconocido por el sector ambiental del gobierno federal, la Red Hemisférica de Aves Playeras, la Convención Ramsar y la propia población de la región; además del alto valor económico de la producción agrícola para el país.

Los instrumentos técnicos como el Sistema de Información Geográfica (SIG) y la Herramienta de Monitoreo de Suelo y Agua (SWAT) son extremadamente valiosos para presentar información compleja de forma clara y sencilla, así como para identificar procesos y tendencias, facilitando con ello la toma de decisiones. Es necesario ampliar su utilización y mejorar de forma continua su nivel de eficiencia a través del aporte y calibración de datos.

El proyecto en su conjunto arrojó datos valiosos sobre la subcuenca Chapala, sin embargo es necesario continuar con la investigación en los aspectos reportados y en otros (como el estado de las poblaciones de peces y las condiciones batimétricas del lago, por mencionar algunos) para mejorar el proceso de toma de decisiones y asegurar el mantenimiento de los amplios servicios ambientales generados en la subcuenca, que benefician en forma cotidiana a millones de personas en Michoacán y Jalisco.

Es de primera importancia fortalecer el enfoque de Manejo Integral de la Subcuenca Chapala, pasando de entender los cuerpos de agua de la misma como meros conductores o almacenes de agua, desvinculados del espacio terrestre que los rodea; a ecosistemas acuáticos complejos, vinculados e interdependientes con su zona de captación. El manejo sustentable del territorio, a través del ordenamiento de las actividades realizadas en el mismo es fundamental. En este contexto el fortalecimiento de la gobernanza ambiental (actualmente débil como resultados de baja efectividad institucional, descoordinación y falta de información, entre otros factores) es urgente. Para ello se plantea la utilización de la plataforma conceptual Manejo Integral de Cuencas y Cuerpos de Agua (Integrated Lake Basin Management) por su flexibilidad, vinculación entre aspectos sociales-ecológicos y el proceso ya desarrollado en la cuenca Lerma-Chapala.

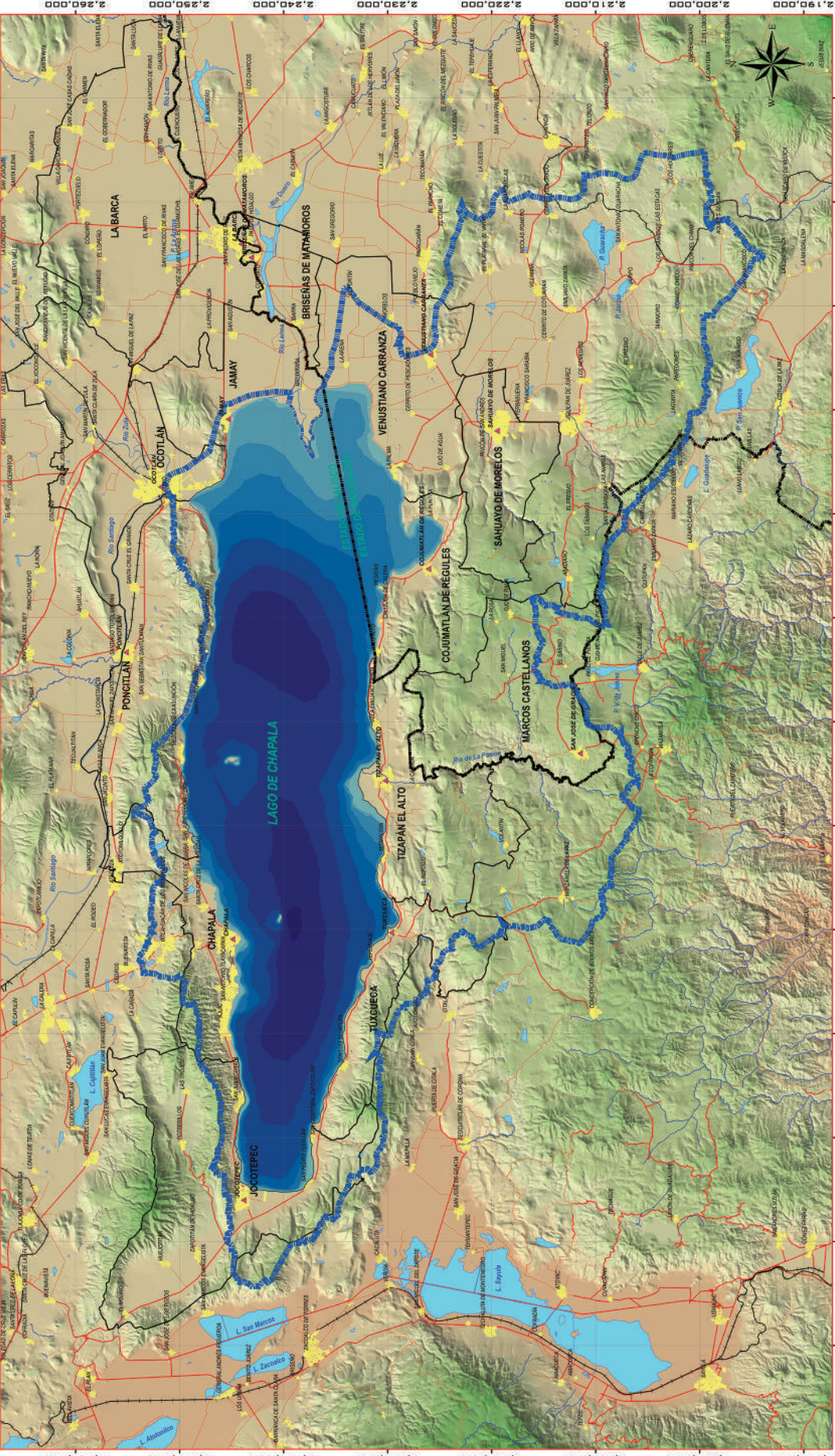






SECCIÓN DE MAPAS

SUBCUENCA CHAPALA MAPA BATIMÉTRICO



PROYECTO

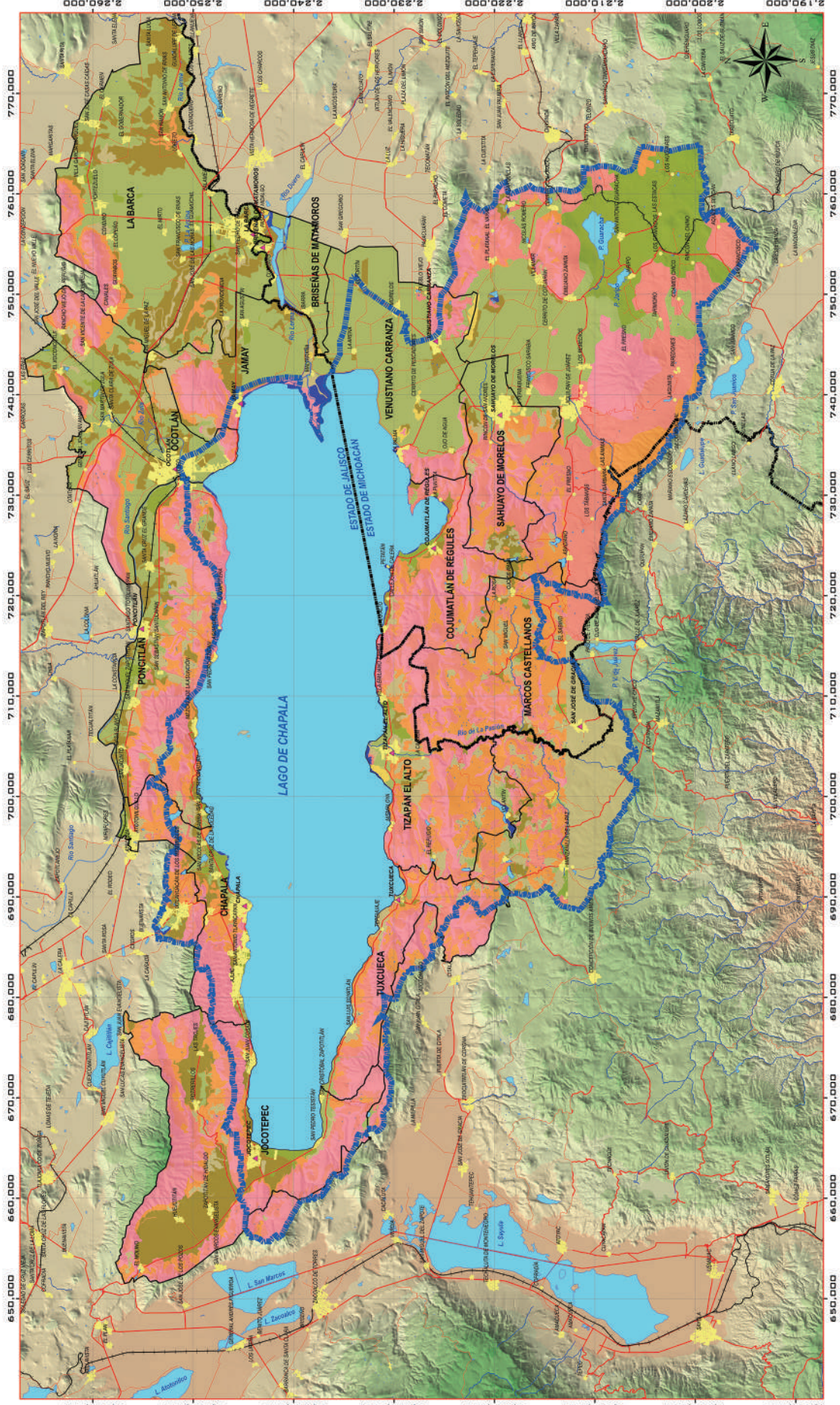
CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LA SUBCUENCA CHAPALA (CUENCA LERMA-CHAPALA) E INSTRUMENTACIÓN PLURAL PARA SU PREVENCIÓN Y CONTROL

SIMBOLOGÍA

Profundidad en metros



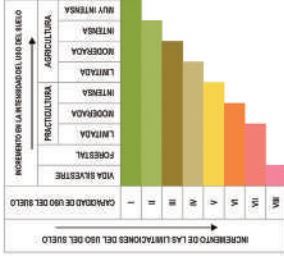
SUBCUENCA CHAPALA MAPA DE USO POTENCIAL DEL SUELO



PROYECTO

CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LA SUBCUENCA CHAPALA (CUENCA LERMA-CHAPALA) E PARTICIPACIÓN PLURAL PARA SU PREVENCIÓN Y CONTROL

CLASIFICACIÓN DE USO POTENCIAL DE LA CARTA 1:50,000

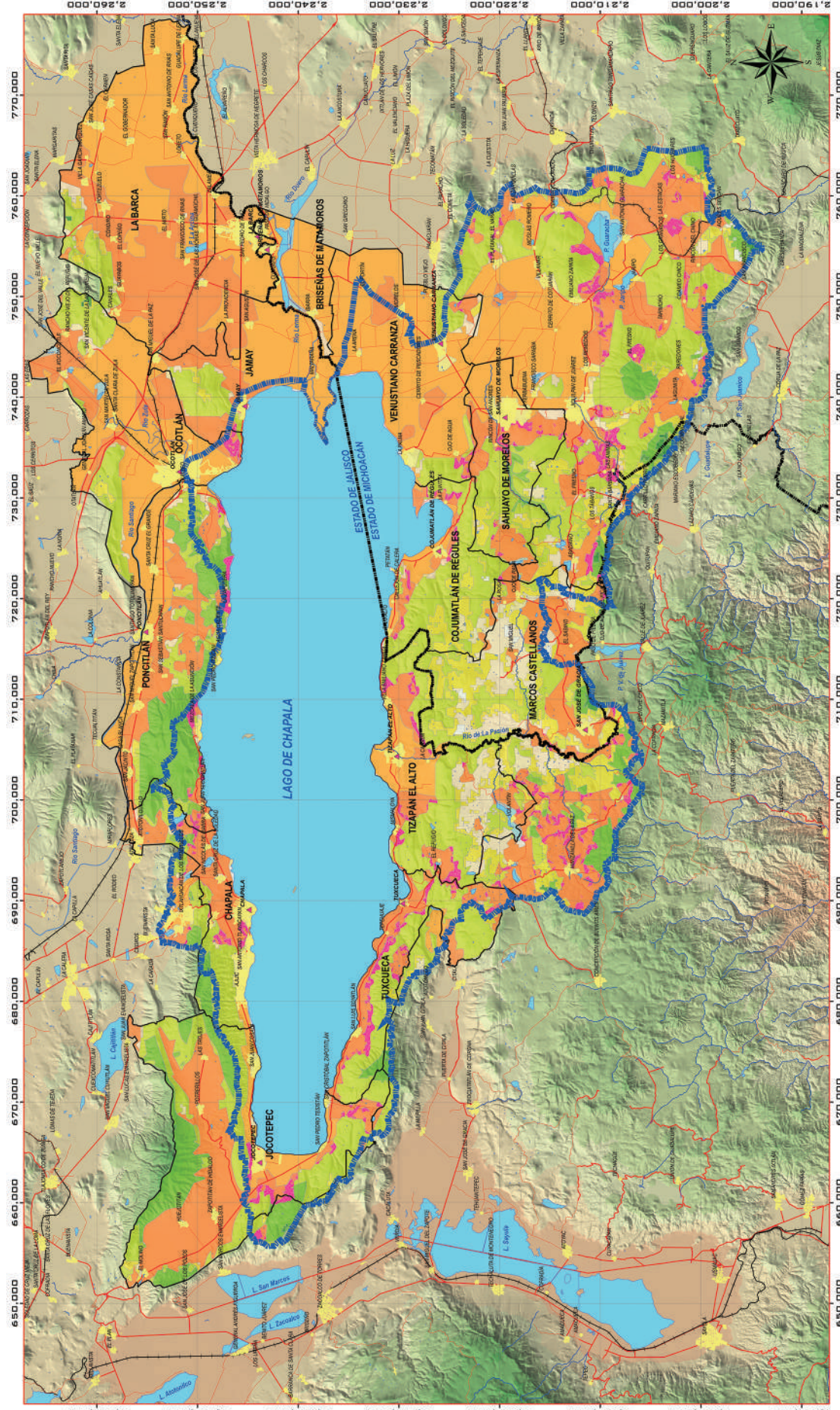


SUBCUENCA CHAPALA MAPA DE USO ACTUAL DEL SUELO

PROYECTO
CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LA SUBCUENCA CHAPALA (CUENCA LERMA-CHAPALA) E INSTRUMENTACIÓN PLURAL PARA SU PREVENCIÓN Y CONTROL

SIMBOLOGÍA

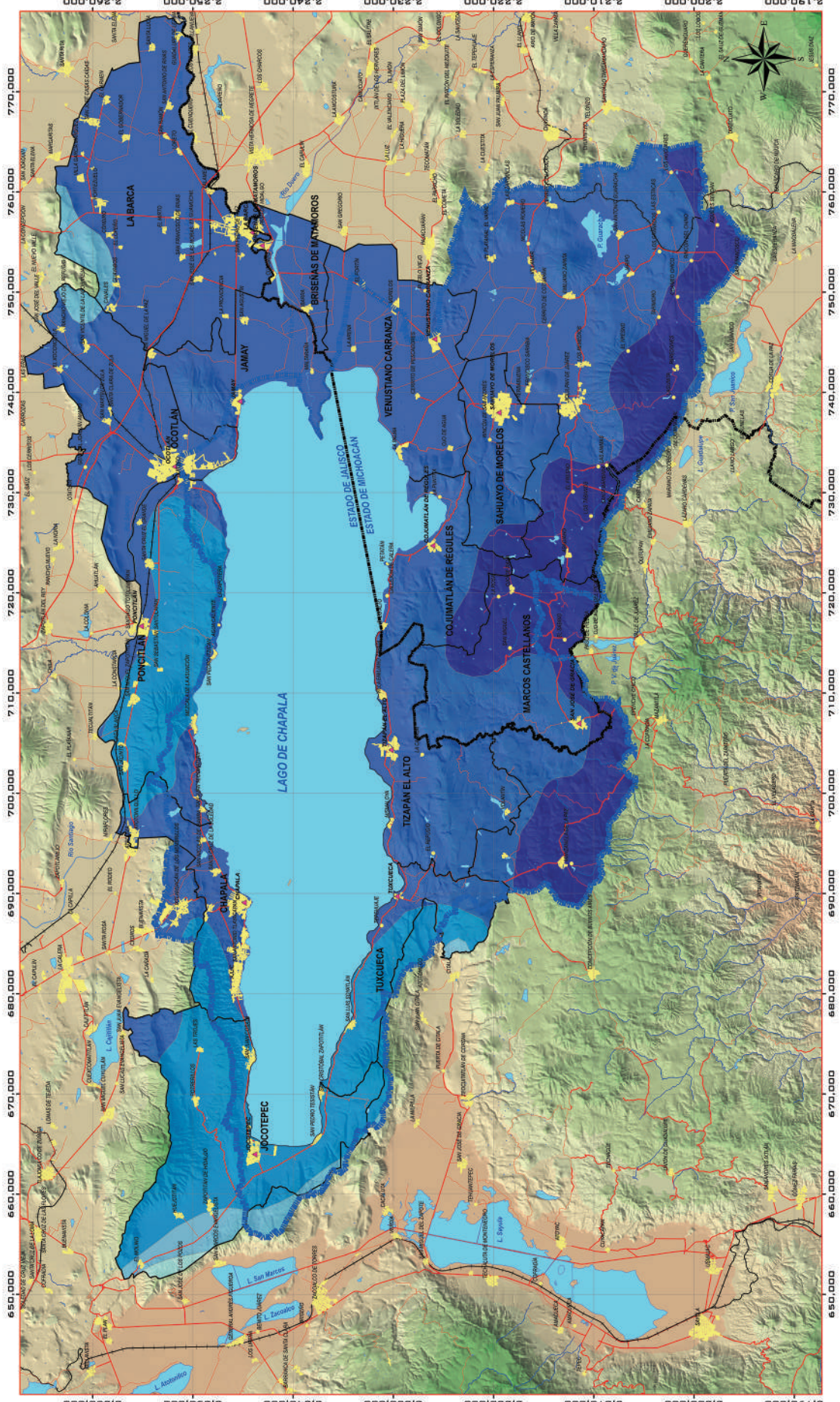
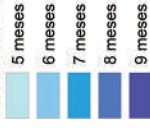
- Bosque de encino
- Bosque de Encino-pino
- Bosque tropical caducifolio
- Matorral subtropical
- Pastizal inducido
- Agricultura de riego
- Agricultura de temporal
- Agricultura de ladera
- Zona urbana
- Cuerpos de agua



SUBCUENCA CHAPALA MAPA DE HUMEDAD DEL SUELO

PROYECTO
CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN LA SUBCUENCA CHAPALA (CUENCA LERMA-CHAPALA) E PARTICIPACIÓN PLURAL PARA SU PREVENCIÓN Y CONTROL

SIMBOLOGÍA
Humedad del Suelo



Instancias de Investigación



**CORAZÓN
DE LA TIERRA**
INSTITUTO DE
DESARROLLO AMBIENTAL



BAYLOR



Instancias Financiadoras



www.corazondelatierra.org.mx