

Contaminación Agrícola y Erosión en la Cuenca del Lago de Chapala



Chapala 2013



Prefacio

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 subestimado; 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 de Chapala para los habitantes de su cuenca directa (también denominada subcuenca Chapala) e incluso más allá. 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 aguas de los afluentes, por ejemplo, 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 a 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 sedimentos, 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 verse 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, lo que ya ha 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 contaminación 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 pesticidas de alto (del orden de 17,000 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 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 agricul-

tores 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 de 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 cono-

cimientos de los agricultores orgánicos hacia otros grupos de productores 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 de 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 para que el Comité Internacional del Ambiente de Lagos (ILEC por sus siglas en inglés) desarrollara el concepto de un sistema 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 de Chapala desde el año 2009, 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 experiencias 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.

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).

Introducción

Alejandro Juárez Aguilar

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, anfíbios, 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 nitrógeno y 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.





CARACTERÍSTICAS DE LA SUBCUENCA CHAPALA

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.

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 topoformas (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.

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 de 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 Köpen 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).

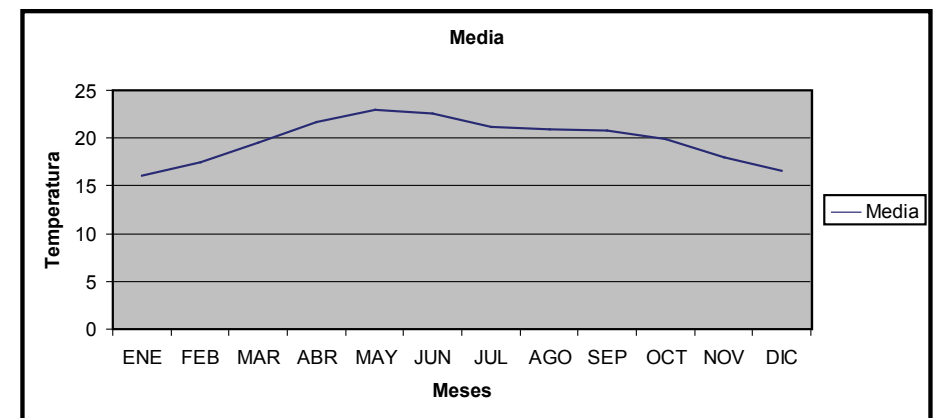


Fig. 3. Temperatura media en la subcuenca Chapala, (promedio para el período 1934-2010).

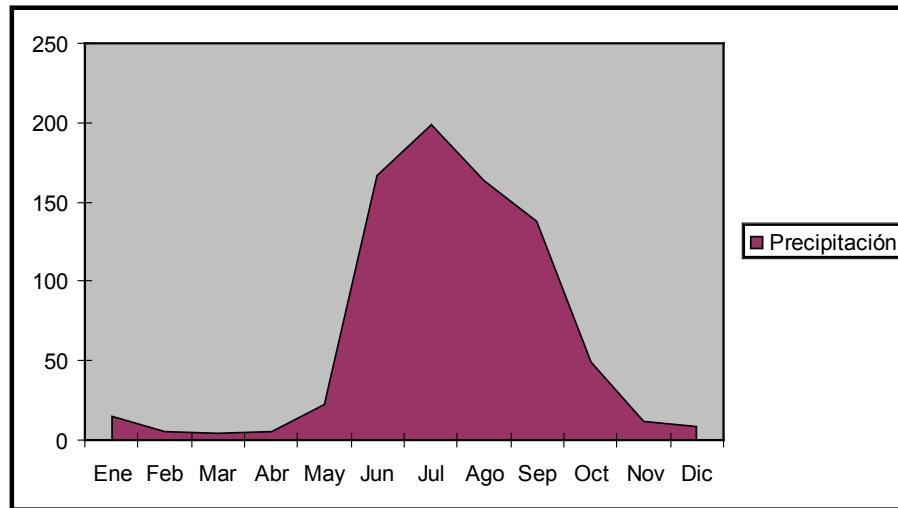


Fig. 4. Promedio de precipitación pluvial en la subcuenca Chapala (milímetros) para el período 1934-2010.

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.
- Piesdemonte. 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 rib-

ereñas 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 Instituto Nacional de Ecología-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 única-

mente 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 mesotermales (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 de 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 terebinthaceus*, *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*, *Discorea* 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. elíptica*, *Q. macrophylla*, *Q. castanea*, *Pinus michoacana*, *P. oocarpa*, y algunos arbustos como *Pithecellobium sonorae*, *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 formalmente su extinción, no se han capturado ejemplares de esta especie en más de 20 años. Además de las especies nativas existen cuatro introduci-

das, 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 es un ecosistema de gran importancia: 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 altiplanero *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*, costurero 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 algu-

nas 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 del área.

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 ecuaro, 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, lo cual equivale a aproximadamente 30% de la captura total para el estado de Jalisco. 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).

En 1993, la cobertura de lirio acuático alcanzó los 135 km² (13% de la superficie del lago). 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. Coincidentemente se han reportado florecimientos de algas como la *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flos-aquae* y *Anabaena aff. flos-aquae*. 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.

Otro 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, 2005).

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), instancia que se encuentra en proceso de constitución legal como organismo público descentralizado.

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.



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 Ortiz (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).



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.

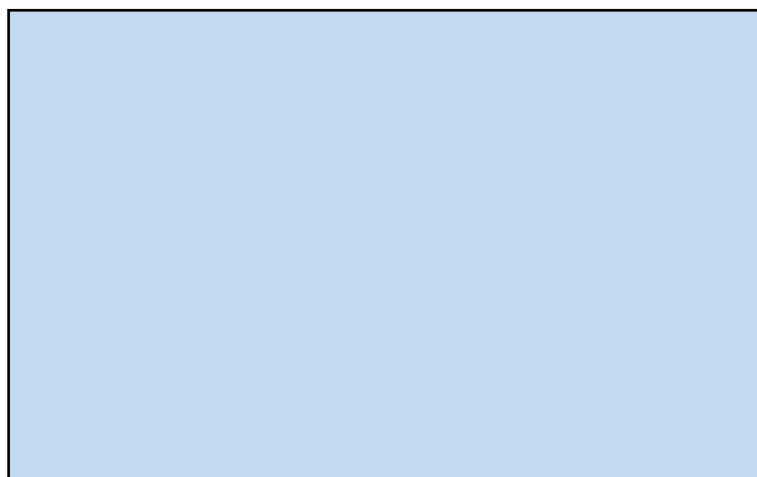
Determinación de la calidad del agua de los afluentes:

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 LACHAT ASX-520 y Autosampler Quickchem 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 (Hydro-lab 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 man-

tuvieron 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 *Selenastrum capricornutum* (en la actualidad *Pseudokirchnerella 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).

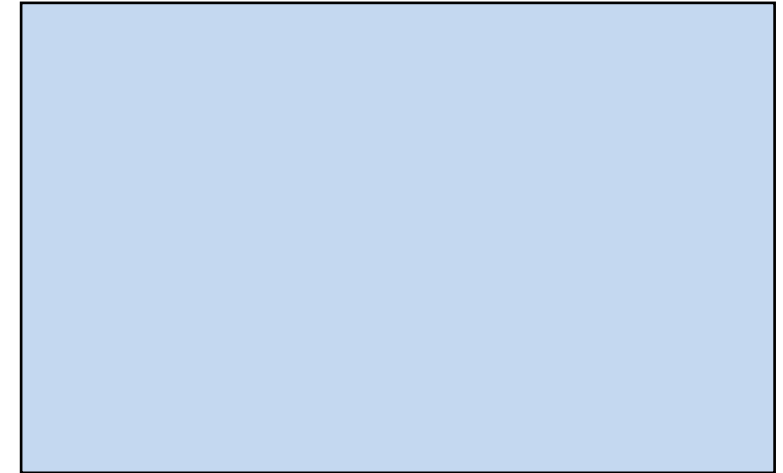
En el caso de la estación en la orilla del Lago de Chapala (La Palma), se registraron temperaturas entre 22.0° C y 26.6° C. El oxígeno disuelto fue similar en mayo y septiembre (5.0 y 5.5 mg l⁻¹ respectivamente) y más elevado en enero: 11.1 mg l⁻¹. El pH fue muy elevado en todas las épocas y se registró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

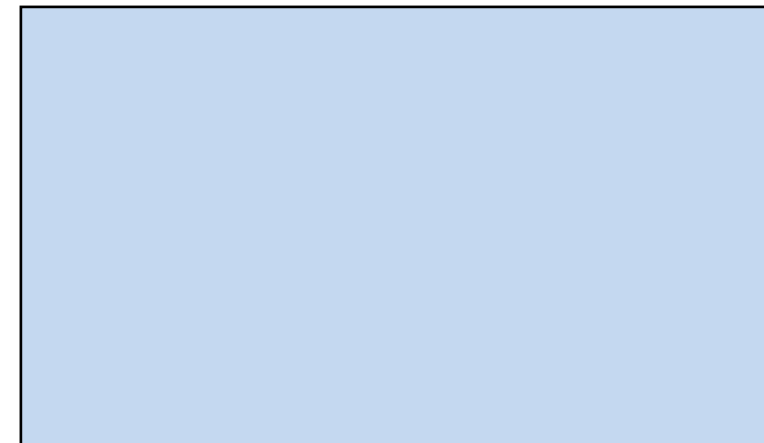


En el caso del fósforo total, las concentraciones mayores medidas se registraron en las plantas de tratamiento con un rango de entre 0.74 y 6.78 mg P l⁻¹, siendo la planta de Jocotepec la que consistentemente presenta altas concentraciones. Las menores concentraciones medidas fueron en las fuentes difusas 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

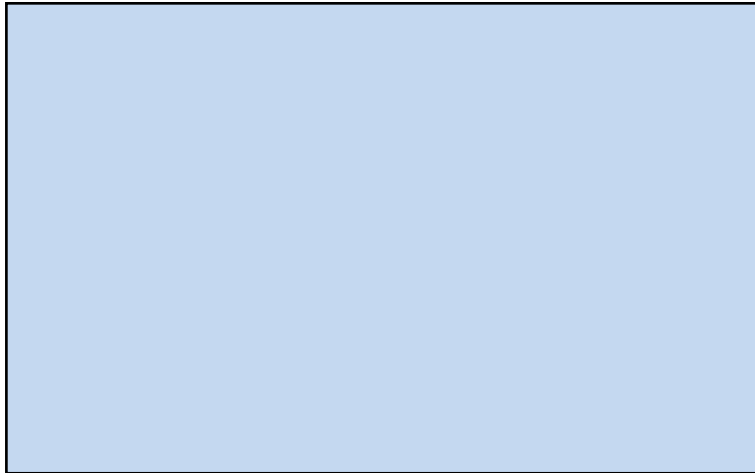
reactivo soluble (SRP), siguió el mismo patrón con mayores concentraciones en afluentes de las plantas de tratamiento; la planta de Jocotepec es la que aporta mayores concentraciones en las tres épocas medidas (5.25, 2.57 y 1.49 mg P l⁻¹ respectivamente). El sitio en la orilla sur del Lago de Chapala 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).



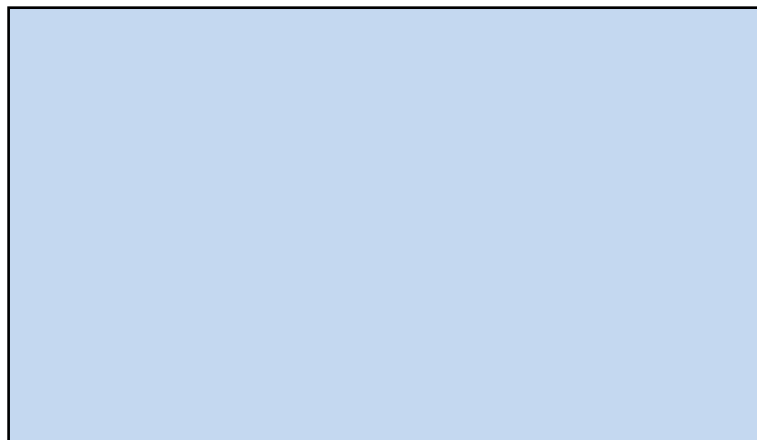
Las mediciones de carbono orgánico total (Tabla 5), son muy elevadas en todos los sitios de colecta y en todas las épocas muestreadas; las más bajas se dieron en mayo en la planta de tratamiento de Chapala y el sitio de Ballesteros (7.20 y 7.1 mg C l⁻¹ respectivamente). Las concentraciones más elevadas 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.



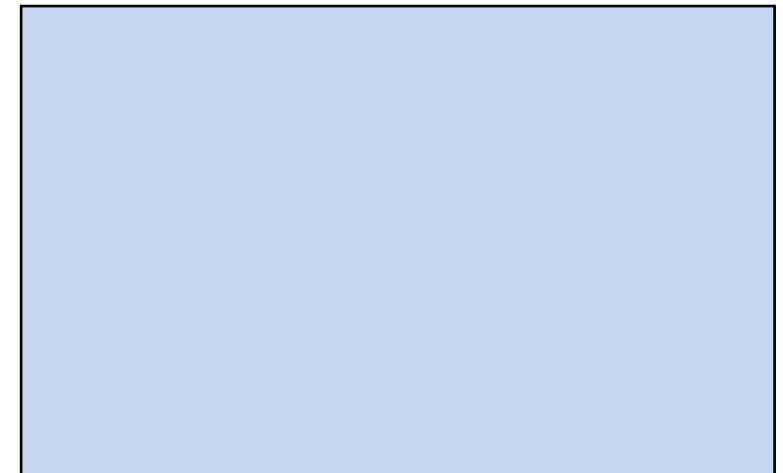
Los sólidos suspendidos totales en las fuentes difusas mixtas (urbano-industrial) presentaron un rango de entre 14.4 y 122.1 mg SST l-1. Las concentraciones medidas para afluentes de plantas de tratamiento y agropecuarios, presentaron un rango amplio entre 7.8 y 1364.6 mg SST l-1, donde la planta de 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 6 mg SST l-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).



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 eutrofización o su tratamiento y prevención son muy altos.

Los nutrientes evaluados fueron los que han sido identificados como promotores de la eutrofización: 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 ($\text{PT} > 0.1 \text{ mg l}^{-1}$), 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 NO_3 ó $\text{NO}_3\text{-N}$, PO_4 ó $\text{PO}_4\text{-P}$.

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 construyeron 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, mercados, 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, Dávalos 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 (Dávalos 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). 19th 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 Potential 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

