



Ficha Informativa ILBM (Lake brief) del Lago Chapala, México.

Noviembre 2021

Elaborado por: Alejandro Juárez Aguilar, Liliana López Gómez y Nelida Orozco Santiago.

corazondelatierra@gmail.com

Facebook: facebook.com/corazondelatierra/

Citar como: Juárez, A., L. López y N. Orozco 2021. Ficha Informativa ILBM (Lake Brief) del Lago Chapala, México. En: Fichas Informativas de Lagos y Embalses (Lake Briefs) de América Latina (en edición). Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas/International Lake Environment Committee Foundation/ Instituto Corazón de la Tierra.

CONTEXTO:

La **Ficha Informativa del Lago Chapala, México se realizó como parte del Proyecto “Fichas Informativas de Lagos y Embalses (Lake Briefs) de América Latina (2020-2021)”**, coordinada por la Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas, el Comité Científico del International Lake Environment Committee Foundation y el Instituto Corazón de la Tierra.

La información, interpretaciones y conclusiones expresados por los autores de la Ficha Informativa del Lago Chapala, México se presentan como parte de un análisis amplio de la zona, fruto de múltiples reuniones con grupos y sectores, así como de dos décadas de trabajo en la cuenca. Los colores utilizados, fronteras, mapas, denominaciones y clasificaciones de este documento no implican, por parte de la Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas, el Comité Científico del International Lake Environment Committee Foundation y/o el Instituto Corazón de la Tierra un posicionamiento o juicio sobre el estatus legal o de otro tipo sobre cualquier territorio, o el respaldo o reconocimiento sobre cualquier tipo de límite territorial.

La información contenida en el documento puede ser reproducida parcial o totalmente para fines educativos y de tipo no lucrativo, siempre y cuando se cite la autoría del mismo.

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos a los investigadores José Antonio Plaza García del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente - DAGMA (Colombia) y a Julia Pérez Sillero de la Fundación Humedales (Colombia), quienes fungieron como revisores de la ficha.

ÍNDICE

Abstract	3
Resumen	3
1. Información básica / Hidrografía	4
2. Morfología	6
3. Balance hídrico	7
4. Clima	8
5. Estado del ecosistema	10
6. Características físicas	11
7. Información de la química del agua	12
8. Datos bióticos	13
9. Estado de la Cuenca	14
10. Usos del lago y sus instalaciones de desarrollo de recursos	16
11. Impedimentos/deficiencias del uso de recursos del lago, incluyendo servicios de regulación entre servicios del ecosistema	19
12. Causas de deficiencias o impedimentos	20
13. Respuestas estructurales de manejo	22
14. Respuestas de manejo no estructurales	23
15. Información socioeconómica	25
16. Situación Política	28
17. Historias de Impacto	29
18. Temas clave de gobernanza en la cuenca	33
19. Principales desafíos de gobernanza	35
ANEXO	38
Referencias	41

Abstract

Lake Chapala is Mexico's largest natural water body, also being an Ancient Lake, close to 7 million years old. Its basin has faced severe ecological pressure derived from strong modifications, economic activities and lack of proper regulations since the XIX century. This Lake has 15 of 19 problems that affect world lakes, including siltation, non-point and point pollution (including industrial discharges), and invasive species, that have had strong negative effects on fisheries and biodiversity. The lake should have a higher eutrophication condition, that has been moderated by presence of suspended solids. Uses of the lake include fish catchment, recreation, irrigation and water for human consumption, depending on the latter around 4 million people. Monitoring of ILBM Governance indicators shows low to medium development, higher on participation and information aspects, with interesting improvement between 2010 and 2020. Since 2006 several institutions have tried to create a coincidental framework to push forward a management based in ILBM principles. Lake Chapala is registered as a Ramsar Site (2009) and is also an Important bird nesting area, due to the diversity and density of this faunal group in the area, with both resident and migratory species.

Resumen

El lago de Chapala es el cuerpo de agua natural más grande de México, siendo también un lago antiguo, cercano a los 7 millones de años. Su cuenca ha enfrentado severas presiones ecológicas derivadas de fuertes modificaciones, actividades económicas y falta de regulaciones adecuadas desde el siglo XIX. Este lago tiene 15 de los 19 problemas que afectan a los lagos del mundo, incluida la sedimentación, la contaminación puntual y difusa (incluidas descargas industriales) y las especies invasoras, que han tenido fuertes efectos negativos en la pesca y la biodiversidad. El lago debería tener una mayor condición de eutrofización, que ha sido moderada por la presencia de sólidos en suspensión. Los usos del lago incluyen la pesca, actividades recreativas, el riego y el uso de agua para consumo humano, dependiendo de este último alrededor de 4 millones de personas. El monitoreo de indicadores de Gobernanza de ILBM muestra un desarrollo bajo a medio, más alto en aspectos de participación e información, con una mejora interesante entre 2010 y 2020. Desde 2006, varias instituciones han tratado de crear un marco común para impulsar una gestión basada en los principios de la Plataforma ILBM. El lago de Chapala está registrado como Sitio Ramsar (2009) y también es un área importante de anidación de aves, debido a la diversidad y densidad de este grupo faunístico en el área, con especies tanto residentes como migratorias.

1. Información básica / Hidrografía

Chapala es el lago natural más grande de México y uno de los más grandes de América Latina. En la cuenca de la que forma parte, la Lerma-Chapala, habitan más de 20 millones de personas y se concentra una parte sustantiva de las actividades agrícolas e industriales de la nación, lo que aunado a que las dos ciudades más grandes del país son usuarias del agua (la Ciudad de México en la cuenca alta y Guadalajara en la cuenca baja) han generado una fuerte presión sobre los ecosistemas, principalmente sobre el agua disponible.

El lago se localiza en la parte occidental de México, dentro de los paralelos 20° 07' y 20° 21' de latitud norte y los meridianos 102° 40' 45'' y 103° 25' 30'' de longitud oeste; con una longitud máxima de 82.18 km. y una amplitud promedio de 18.8 Km. Se localiza a 1,524.60 m.s.n.m. (Orozco, M. y V. García, 2005).

Longitud	Latitud
664580.631	2249194.020
741744.83	2250676.84
665081.92	2223420.95
742229.18	2224893.42

Tabla 1. Coordenadas extremas UTM del Lago Chapala. Fuente: Orozco y García, 2005.



Figura 1. Mapa base de la Subcuenca del Lago Chapala. ICT, 2013; con datos de INEGI y otras fuentes.

La cuenca Lerma-Chapala tiene una superficie total de 53,591.3 km² y abarca territorio de cinco estados: Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco. Está subdividida en 19 subcuencas (Cotler, Mazari y de Anda, 2006) siendo la subcuenca Chapala, con una superficie de 3,321.62 km² aquella que incluye al lago. El cuerpo lacustre es compartido entre los estados de Jalisco (al noreste, norte, noroeste y suroeste) y Michoacán (este y sureste).

Los municipios ribereños son, empezando en la desembocadura del Río Lerma y en sentido de las manecillas del reloj: Venustiano Carranza, Cojumatlán de Regules y Briseñas (en Michoacán); Tizapán el Alto, Tuxcueca, Jocotepec, Chapala, Poncitlán, Ocotlán, Jamay y La Barca (en Jalisco).

El lago se originó a causa de movimientos tectónicos en un período ocurrido entre hace 6.7 y 7 millones de años, lo que lo hace uno de los lagos más antiguos del mundo, dentro de la categoría de *Ancient Lake*, que incluye a menos de 40 lagos. Además, es uno de los escasos lagos someros con esta categoría, ya que la mayoría de los lagos antiguos del mundo son de gran profundidad (Free, 2020). El Lago Chapala ha sufrido diversas modificaciones, siendo una de las más importantes la construcción del Canal de Ballesteros (finalizado en 1908), el cual desecó 50 Km² al este del lago. Esta obra redujo la superficie del espejo de agua pero aumentó su volumen, pasando de tener un almacenamiento máximo de 5,800 hm³ al actual de 7,897 hm³. Asimismo esta modificación produjo efectos ambientales importantes, pues la zona desecada funcionó durante milenios como ciénaga, reteniendo o liberando agua de acuerdo a las condiciones de abundancia o sequía, evitando así fluctuaciones severas en el lago.

Las afluentes del Lago Chapala son tres: el Río Lerma, Río Zula y Río de la Pasión. El Río Lerma tiene una longitud de 750 km y entra al lago por su parte este. Recibe aportaciones de muchos ríos más pequeños, como el San Agustín y Tejalpa (Estado de México), Laja y Turbio (Guanajuato), y Angulo y Duero (Michoacán). El Río Zula está en Jalisco y tiene una longitud de 70 km. El tercer afluente es el más corto: el Río de La Pasión (26 km de largo), entra al lago por el sur, bajando desde la Sierra del Tigre, con territorio compartido entre Jalisco y Michoacán.

Es importante mencionar que el Zula originalmente no vertía sus aguas en el lago, pero a fines del siglo XX se construyó un canal para enviar parte de las aguas a Chapala.

Además de los ríos, hay otras tres fuentes de agua: a) Decenas de arroyos temporales que durante la temporada de lluvias vierten su caudal de forma directa en el lago, b) la lluvia que cae directamente sobre el vaso lacustre y c) varias “surgencias” o “borbotones”, que brotan en el fondo del lago.

Como cuerpo efluente único está el Río Santiago, con un recorrido de 433 km que parte del Lago Chapala y termina en el Océano Pacífico.

El lago y su cuenca cuentan con una amplia diversidad de paisajes, que incluyen serranías, lomeríos, llanuras y cuerpos de agua, como se muestra en el Anexo 2, Imágenes.

En cuanto a demografía, la cuenca Lerma-Chapala alberga a más de 20 millones de personas (16% de la población del país). La densidad poblacional de la cuenca es tres veces mayor que el promedio nacional, teniéndose centros urbanos densamente poblados en los cinco estados que componen la cuenca.

Con respecto a la demografía de las subcuencas cercanas, la subcuenca Chapala alberga a 436 mil personas y la subcuenca Zula 352 mil. Los detalles se muestran en el Anexo 3. Debe mencionarse que la cuenca Lerma-Chapala está integrada por un total de 19 subcuencas.

2.Morfología

El lago Chapala tiene una capacidad de almacenamiento de 7,897 millones de m³ y una superficie de 1,112 km² (CEA, 2008).

Las dimensiones, profundidad y otras características del cuerpo de agua se muestran en la siguiente tabla.

Parámetro	Valor
Área total (Total surface area)	1,112 km ²
Volumen máximo histórico (Maximum historical water level)	9,663.1 hm ³
Volumen mínimo histórico (minimum historical water level)	953.98 hm ³
Longitud total (Lenght along major axis)	77.00 km
Anchura total (Maximum width)	22.50 km
Profundidad máxima (Maximum depth)	26 m
Profundidad media (Average depth)	7.7 m

Tabla 2. Parámetros del Lago Chapala. Fuente CEA, 2008.

El cuerpo de agua es permanente, teniendo fluctuaciones al alza durante el temporal de lluvias (junio a octubre) y a la baja durante la temporada seca

(noviembre a mayo). Aunque ha alcanzado volúmenes por encima de su capacidad de almacenamiento (en 1926 alcanzó los 9,663 hm³ generando fuertes inundaciones) también ha sufrido fuertes descensos en su nivel (en 1955 se redujo a 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 (ver Mapa Batimétrico en el Anexo 1, Mapas).

De los tres afluentes del lago, el río Zula no drena naturalmente hacia el mismo, sino que su agua es derivada a través de un canal. Asimismo, el efluente (Río Santiago) tiene un dique que es operado para retener o dejar pasar el agua, lo que se usa para reducir la pérdida de volumen del cuerpo lacustre.

Desde 1934 el gobierno federal realiza mediciones del volumen del lago. Actualmente la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) toma lecturas diarias de los parámetros hidrológicos en 3 estaciones meteorológicas y 3 estaciones hidrométricas fluviales, a fin de contar con información sobre precipitación, evaporación, volumen del lago, flujos de alimentación y salida, entre otros (de Anda et al., 1998). En la siguiente figura se muestran las variaciones de volumen y profundidad del lago, apreciándose los decrementos en el volumen de almacenamiento estacional, muy fuertes en períodos de escasa precipitación pluvial.

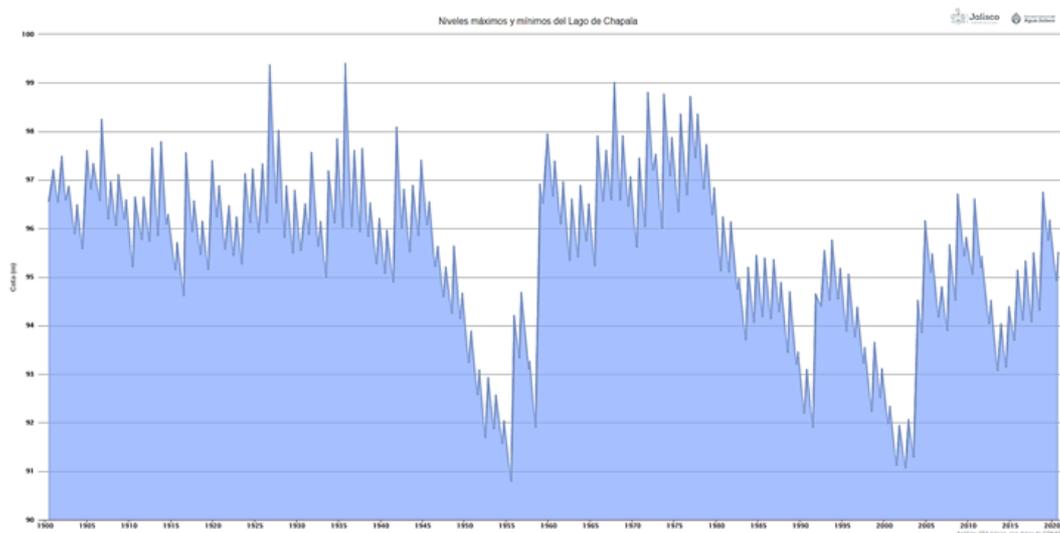


Figura 2. Variaciones de volumen del Lago de Chapala (1908-2021). Fuente CEA Jalisco, 2021.

3. Balance hídrico

Durante el periodo 1934-1979 las entradas de agua al Lago de Chapala procedentes del río Lerma fueron en promedio de 1,873 hm³/año. Sin embargo, en el periodo 1980-2003 el aporte promedio fue apenas de 425 hm³/año (de Anda et al., 2005). El análisis de los parámetros hidrométricos del vaso demuestran que los cambios en la cantidad de agua almacenada se debieron principalmente al uso intensivo del recurso a lo largo de la cuenca del río Lerma (Aparicio, 2001).

Entradas y salidas (promedio anual)	Cantidad (hm³)
Precipitación directa	852.4
Aportación de afluentes	1,418.9
Agua subterránea	227
Filtración	No cuantificada
Ingresos totales	2,498.3
Evaporación	1,122.1
Extracción para Zona Metropolitana de Guadalajara	153.6
Salidas por el Río Santiago	28.9
Egreso total	1,304.6

Tabla 3. Balance hídrico. de Anda *et al.*, 2005

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 en 1934-1970 a 18.58 ± 34.59 años en 1971-2003 (de Anda *et al.*, 2005). En dicho estudio se reporta que el volumen y profundidad media del lago disminuyeron sustancialmente desde la década de 1980, mientras que la precipitación se mantuvo. También se reporta la disminución en las contribuciones del Río Lerma y el importante descenso en el flujo de salida a través del Río Santiago.

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 fondo. Por otro lado, aunque menos comunes, también se han registrado inundaciones como la acaecida en 1935, cuando el líquido desbordó los muros de contención e invadió diversas partes de la ribera. Es interesante reportar que en 2018, cuando el lago alcanzó el 85% de su volumen total, se generó una amplia percepción pública de que estaba a su máxima capacidad, al cubrir el agua diversas construcciones realizadas de forma invasiva sobre el litoral lacustre, lo que se entendió en medios de comunicación como que el lago “estaba desbordado”.

4.Clima

De acuerdo a la clasificación de Köpen modificada por Enriqueta García (1973) el clima de la zona corresponde a semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, siendo el más seco de los cálidos. La temperatura promedio anual es de 19.9°C. La temperatura ambiente máxima se presenta entre los meses de mayo a julio (27°C a 30°C) y la mínima de diciembre a febrero (9°C a 12°C).

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).

La frecuencia anual de granizadas es menor a dos días y el número de heladas, menor a 20 días al año. La precipitación total anual es de 875.2 mm; el mes más seco, enero. La evaporación total anual es de 1,912 mm, siendo abril y mayo los meses en que es mayor (250 mm) y en diciembre es mínima (100 mm).

A continuación se muestran gráficos de temperatura y precipitación pluvial para el Lago de Chapala, los cuales se obtuvieron promediando los datos de las estaciones meteorológicas de Chapala, Jocotepec, La Barca y Tizapán El Alto en el período 1934-2009, utilizando bases de datos de CONAGUA (2010).

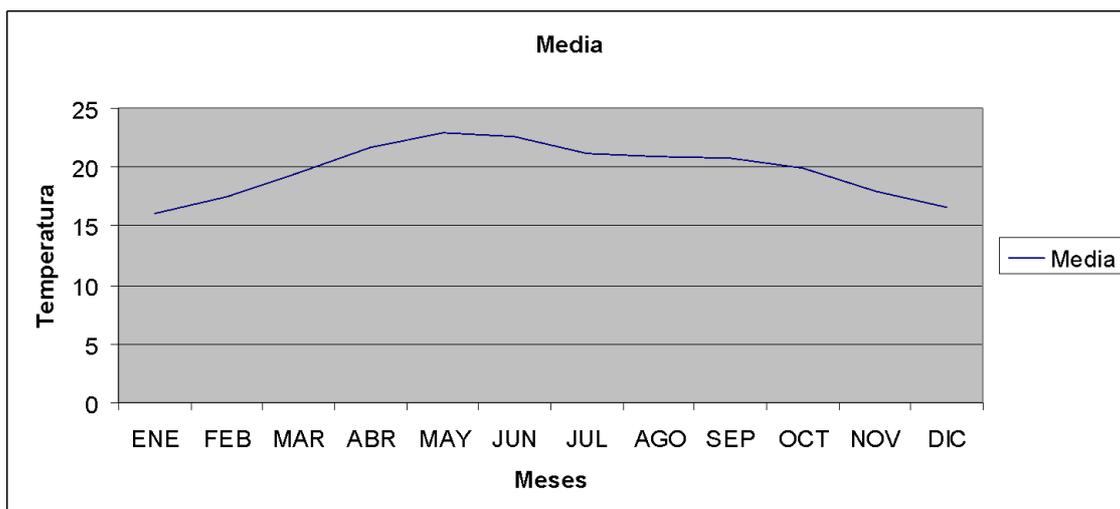


Figura 3. Temperatura media en la región del Lago de Chapala, (promedio para el período 1934-2009). Fuente CONAGUA, 2010

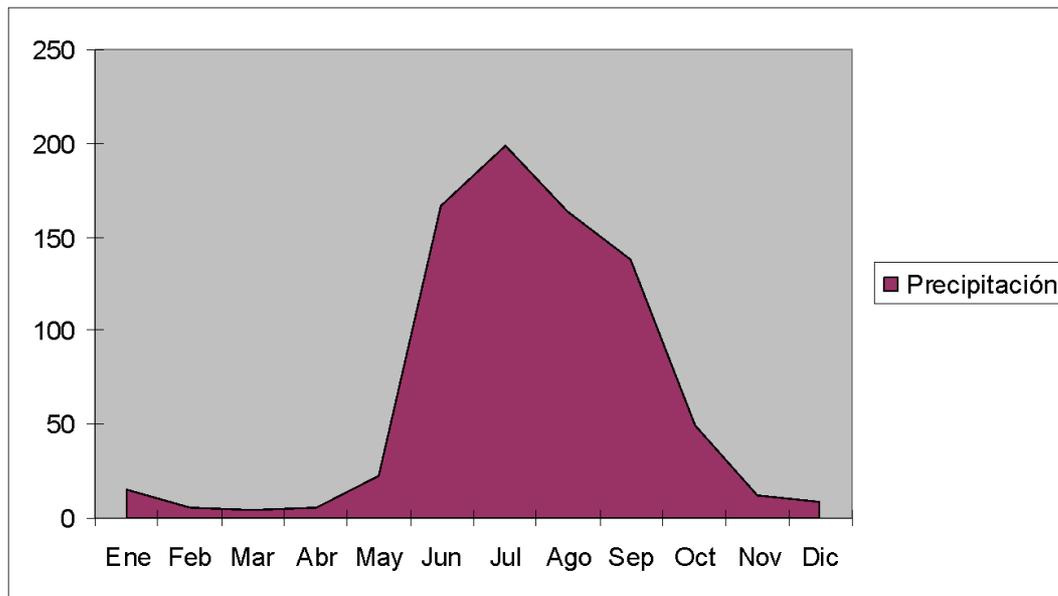


Figura 4. Precipitación pluvial en el Lago de Chapala (milímetros-promedio para el período 1934-2009). Fuente CONAGUA, 2010.

5.Estado del ecosistema

La cuenca Lerma-Chapala se caracteriza por la diversidad de ecosistemas ligada a las variaciones de altitud y clima así como la amplitud de formas topográficas (montañas, planicies, cañadas y valles), lo que a su vez ha generado una extensa biodiversidad y un conjunto de servicios ambientales tanto de servicio como de regulación, indispensables para una población de más de 20 millones de personas.

El manejo adecuado de la cuenca debería tener 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 ecosistemas terrestres 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. En términos de biodiversidad la cuenca Lerma-Chapala es considerada 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).

La cuenca Lerma-Chapala representa uno de los más importantes centros de origen, evolución y biogeografía de peces en México. La familia endémica de los goodeidos (pintillas y tiros), tiene ahí su área de mayor diversidad, con nueve especies. Asimismo es destacable la evolución y especiación de charales y pescados blancos (ocho especies), además de contar con un bagre endémico, diferentes carpas nativas así como registros históricos de lampreas (uno de los pocos reportes de especies de agua dulce para esta familia, típicamente marina).

Sin embargo esta diversidad de peces está fuertemente amenazada por una combinación de contaminantes, sobrepesca, afectación por especies exóticas y parásitos, lo que explica la fuerte declinación de las especies del lago. De las 28 especies nativas reportadas en la década de 1960, cuarenta años después sólo se encontraban 18 (Moncayo y Buelna, 2001), de las cuales se consideran amenazadas la popocha (*Algansea popoche*), el bagre de Chapala (*Ictalurus dugesii*), el pescado blanco trompudo (*Chirostoma promelas*), el charal de La Barca (*Chirostoma labarcae*), y dos especies de goodeidos (*Allotoca dugesii* y *Skifia lermae*). Además, la lamprea de Chapala (*Lampreta spadiceus*) no ha sido reportada en 20 años (Moncayo y Escalera, 2005).

La gestión de la Cuenca Lerma-Chapala se ha hecho generalmente con enfoques parciales, sin contar con un manejo integral que considere al cuerpo de agua y su cuenca como ecosistemas dinámicos que forman parte de una unidad compleja e interrelacionada. Aunque la estructura y funcionamiento del Consejo de Cuenca han evolucionado con el tiempo, una de las situaciones de fondo que se mantiene, es su enfoque del agua como recurso a ser repartido, basando su acción en la asignación de concesiones para su aprovechamiento sin ligarlo al manejo adecuado del territorio, la conservación de zonas forestales de recarga, el control de contaminación difusa y el manejo sustentable de la biodiversidad, por mencionar algunos tópicos.

6. Características físicas

De acuerdo a un estudio de las características hidrológicas del lago (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, en la parte central. 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 las dos capas. Adheridas a estos frentes, siempre se encuentran presentes ondas internas no lineales en forma de solitones.

El lago no presenta condiciones de congelamiento, siendo un lago superficial tropical. El patrón de circulación inducido por la brisa en el lago está representado por dos giros. Uno de ellos es ciclónico (rotación en sentido antihorario) y está ubicado en la parte centro-este del lago. El otro giro es anticiclónico (rotación en sentido horario) y está ubicado en la parte centro-oeste. Los resultados muestran una dinámica muy compleja. Se identificaron giros similares cerca de la costa este y oeste (Ávalos-Cueva, et. al, 2016).

Según se infiere del estudio de Filonov, et al, 2005, en el mes de julio el lago se estratifica térmicamente, el epilimnion (análogo a la capa de mezcla) se extiende hasta los 18 m y el metalimnion se localiza entre 18 y 28 m. La variación de la temperatura entre la superficie y el fondo fue de 18.7 °C a 14.3 °C, con una variación de 3 °C en la termoclina. La concentración de oxígeno disuelto en el epilimnion varió de 7.7 a 6.6 mg/L disminuyendo en el metalimnion hasta llegar a 0.3 mg/L a los 27 m y a partir de los 28 m el hipolimnion del lago permaneció anóxico. El valor promedio de pH en la columna fue de 8.7 y la conductividad fue de 11.6 mS/cm, ambos con variación reducida. La concentración promedio de

N-NO₃ y P-PO₄ disponible en la capa de mezcla fue de 0.21 y 0.25 µmol/L, respectivamente.

En el mes de febrero el lago se mezcla, la temperatura varía de 16 °C a 14.3 °C entre la superficie y el fondo, con el mayor cambio en el primer metro de profundidad con 0.8 °C. La concentración de oxígeno disuelto en la columna pasa de 7.1 mg/L en superficie a 3.4 mg/L en el fondo. El valor promedio de pH en la columna fue de 9 y la conductividad fue de 11.8 mS/cm, ambos parámetros con una reducida variabilidad. La concentración promedio de N-NO₃ y P-PO₄ disponible en la columna fue de 0.53 y 0.82 µmol/L, respectivamente.

Los resultados de la simulación con el modelo HamSOM revelan patrones bien definidos con velocidades que alcanzan 12 cm/s; los más intensos se encuentran cerca de la costa. Los patrones de circulación general a lo largo del lago están claramente identificados. Un giro anticiclónico predomina en todos los tiempos de simulación, moviéndose hacia el este del lago. El otro giro es ciclónico y se mueve hacia el sureste del lago para generar eventualmente un flujo de retorno. Filonov y Tereshchenko (1999) y Avalos (2003) informaron la existencia de una circulación predominante en el lago. Sin embargo, la circulación se mostró de forma muy vaga debido a la simplicidad de los modelos que se utilizaron y a la accesibilidad de los datos. Este hallazgo de investigación es potencialmente importante para comprender el transporte de partículas y contaminantes en el lago de Chapala.

7. Información de la química del agua

Malié (2002) analizó el Índice de Calidad del Agua (ICA) del Lago de Chapala para el período 1972-2000, reportando que el mismo era “aceptable”, mientras categoriza la concentración de sólidos suspendidos como “anormal”, en concreto en relación a los datos de fósforo total, demanda química de oxígeno, pH y fenoles.

Entre los contaminantes reportados para el humedal se incluyen metales pesados como arsénico, cobre, cromo y zinc, con mayor concentración en la desembocadura del Lerma (Dávalos-Lind, 1996; Guzmán, 2001), con efectos comprobados de afectación a los organismos vivos, generando efectos de bioacumulación. La contaminación procede de fuentes fijas (aguas domésticas, industriales y pecuarias) así como difusas (principalmente fertilizantes y pesticidas procedentes de actividades agrícolas).

En el caso de metales pesados, la fuente de los mismos es básicamente industrial, procedente del conjunto de empresas establecidas en el corredor del Bajío, destacando la producción peletera en León, Guanajuato, que genera como subproductos descargas de arsénico en el Río Turbio; así como la planta petroquímica de Salamanca, que genera una amplia diversidad de sustancias como resultado de sus procesos, los cuales llegan al lago a través de la corriente del Río Lerma. Asimismo hay vertidos derivados de actividades industriales desde la parte alta de la cuenca (Toluca y Querétaro), de la zona Altos de Jalisco (tequileras de Arandas, Tepatitlán y Atotonilco El Alto, arrastrados por el Río Zula) y del corredor industrial de Ocotlán, aledaño al lago.

Las cargas de nitrógeno y fósforo en el Lago de Chapala son en extremo abundantes, siendo las principales fuentes el arrastre de agrofertilizantes, aguas negras municipales, desechos de granjas porcícolas y vertidos de la industria tequilera. Se cuenta con las condiciones necesarias para generar una floración importante de algas y macrófitas, sin embargo, dicha producción no ha ocurrido en la medida que se esperaría debido a que existen factores abióticos que impiden que se lleve a cabo plenamente el proceso de fotosíntesis, siendo el más importante la alta concentración de sólidos suspendidos, que al precipitarse capturan una parte importante de dichos contaminantes.

8. Datos bióticos

Hasta donde se conoce, Chapala es el lago de mayor riqueza fitoplanctónica en México y el de mayor riqueza de especies por género. En total se reportan 226 especies de fitoplancton, agrupadas en 92 géneros y 44 familias. Destacan por su abundancia las pertenecientes a las divisiones Chlorophyta, Chromophyta, Cyanophyta, Euglenophyta y Dinophyta.

El Lago de Chapala posee 28 especies de peces nativas, varias de ellas endémicas, entre estas el charal (*Chirostoma arge*) y el pescado blanco (*C. sphyraena*), ambas consideradas en peligro de extinción. Otras especies endémicas son el pescado blanco boca-negra (*C. consocium*), el blanco trompudo (*C. promelas*) y el bagre de Chapala (*Ictalurus dugesii*), también amenazadas por afectación de su hábitat y sobrepesca. El lago 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 la presencia de nueve especies. En total 15 especies tienen valor comercial, destacando las familias Cyprinidae (carpas), con cuatro especies; Ictaluridae (bagres), con tres especies; Atherinidae, con siete especies (charales y los pescados blancos); y finalmente la familia Cichlidae (tilapia, introducida) con una especie.

El cuerpo de agua y la vegetación circundante funcionan como importante zona de refugio y alimentación de aves silvestres. Al venir desapareciendo del altiplano de México los numerosos sistemas de ciénagas y humedales de antaño, Chapala se convirtió en una de las pocas alternativas de una vasta región del occidente de México. Las rutas migratorias que llegan al lago son parte de la ruta central y la del Pacífico que viene de Alaska, Canadá y los Estados Unidos. En total, entre aves migratorias y residentes se tienen reportes de 100 especies en estudios científicos y 250 más en reportes de observadores de aves. En conjunto se estima que en el área del lago puede llegar a encontrarse una población de al menos 50,000 aves acuáticas en la temporada de invierno.

Destaca la presencia de pelícano blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*), pato altiplanero (*Anas platyrhynchos diazi*), pato golondrino (*Anas acuta*), cerceta aliazul (*Anas discors*), garza ganadera (*Bubulcus ibis*), garzón blanco (*Casmerodius albus*), gallareta, (*Fulica americana*), garza dedos dorados (*Egretta thula*), gallareta frentiroja (*Gallinula chloropus*), cormorán oliváceo (*Phalacrocorax olivaceus*), garza nocturna coroninegra (*Nycticorax nycticorax*), e Ibis negro (*Plegadis chihi*).

9. Estado de la Cuenca

La cuenca hidrológica Lerma-Chapala-Santiago cubre una superficie de 129,263 km², de los cuales 29% corresponden al río Lerma, 6% al lago de Chapala y 64% al río Santiago (SRH 1973; Paré 1989). La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), instancia encargada de la administración hidráulica en México clasifica la cuenca como “Región Lerma-Santiago” y la maneja bajo la figura “Región VIII Lerma-Santiago-Pacífico”. En la práctica se maneja de forma separada el sistema Lerma-Chapala del sistema Río Santiago, basándose en criterios administrativos definidos desde la década de 1970 por la desaparecida Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH, 1973).

Un rasgo destacable de la hidrología del sistema es que el afluente principal (Río Lerma) y el efluente único (Río Santiago) están a poca distancia uno del otro, en lugar de estar en extremos opuestos del lago. Asimismo otro de los tres afluentes, el Río Zula, no descarga sus aguas de forma natural sino como consecuencia de la construcción de un canal de derivación.

De acuerdo con diversos estudios (Estrada, Flores y Michel, 1983; Rosas, et al, 1997) puede deducirse 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 intermedia localizada entre el Lago de Chapala y Cuitzeo (Michoacán) área en la cual es posible encontrar pequeños espejos de agua que quedan como remanentes de esa antigua conexión (Velarde, 2008). Lo anterior coincide con la antigua presencia de amplias cuencas lacustres asociadas al Eje Neovolcánico.

Es importante resaltar las fuertes alteraciones hidrológicas sufridas en la cuenca, acaecidas desde fines del siglo XIX, incluyendo la construcción de bordos que han disminuido la extensión del cuerpo de agua y aumentado el volumen de almacenamiento. Escotto (1986) menciona que en 1897 se iniciaron los trabajos de construcción de la presa de Poncitlán, sobre el río Santiago, para controlar el nivel del lago. Entre 1904 y 1908 se levantó el Bordo Ballesteros, lo que desecó 50,000 hectáreas repartidas en territorio de Jalisco y Michoacán, para dedicarlas al cultivo. La zona aún hoy en día es conocida como “Ciénega de Chapala”, en memoria de su anterior condición ecosistémica. Diversas localidades, entre ellas la ciudad de Sahuayo eran anteriormente localidades ribereñas. El dique Maltaraña se terminó de construir en 1953 (CNIC-DJ, 1989) y separó definitivamente a la ciénega del Lago Chapala.

En cuanto a suelos, en general dominan los de tipo residual y transportados, que se originan a partir de basaltos del terciario superior y otras rocas ígneas y aluviones (INEGI, 1988). En la cuenca directa del Lago Chapala predominan los siguientes tipos:

1. Vertisol en aproximadamente 60% del área, en la mayor parte de la cuenca, excepto Poncitlán y el oeste de Tizapán.
2. Luvisol en 20%, se localiza en el sur de Tizapán y de Régules.
3. Feozem en 10%, al noroeste de Chapala, centro y este de Poncitlán, sur de Jocotepec, noroeste de Tizapán, y norte y centro de Cojumatlán.

4. Litosol en 10%, en el noroeste de Chapala, norte de Jocotepec y suroeste de Venustiano Carranza.

La dinámica del **cambio de uso de suelo** en la cuenca Lerma-Chapala, como resultado de las diferentes actividades productivas, es muy compleja. Si bien el sector industrial es el más desarrollado en la región, éste se concentra en áreas urbanas y rurales específicas. Son las actividades agrícolas y ganaderas las que ocupan la mayor superficie de la cuenca y en buena medida, las que mayor impacto han tenido en él. Al realizar un análisis detallado del cambio de uso del suelo en la cuenca, se encuentra que puede ser englobado en cinco grandes procesos. El primero y más importante por el área afectada, es la conversión entre coberturas antrópicas: el cambio se realiza de una cobertura antrópica a otra. Por ejemplo, un área ocupada por agricultura de temporal (dependiente de la lluvia) cambia a pastizales inducidos.

Los cambios más importantes dentro de este proceso se dan hacia la agricultura de riego (1,585.03 km²) y la agricultura de temporal (1,432.92 km²), equivalentes al 6% de la superficie total de la cuenca. El análisis muestra que los cultivos en general presentan una tasa de cambio cero. Esto implica que en general se mantiene un equilibrio entre la apertura de nuevas zonas de cultivo y el abandono de otras. En contraste, los asentamientos humanos son la cobertura con la mayor tasa de cambio registrado para la cuenca.

Otro proceso importante de cambio de uso de suelo es la deforestación y conversión de la vegetación natural hacia coberturas antrópicas. Las transformaciones principales son hacia agricultura de temporal (1,957.01 km²) y pastizales inducidos (1,529.29 km²), los cuales representan el 6.6% de la superficie total de la cuenca. Los matorrales subtropicales y los bosques de encino son los más afectados por este proceso; los primeros perdieron un área de 1,236.55 km² y los segundos 880.54 km² en el periodo 1976-2000. Un tercer proceso de cambio se da por la recuperación de la vegetación natural. Este se realiza principalmente por el abandono de tierras agrícolas de temporal y pastizales inducidos que, al liberarse de la presión antrópica, dan paso a una sucesión secundaria. Las coberturas con mayor recuperación son las de matorral subtropical (964.49 km²) y los bosques de encino (430.29 km²).

El cuarto proceso es la degradación de la vegetación natural y es el que ha tenido un mayor impacto en los remanentes de vegetación natural de la cuenca. Se reconoce cuando los fragmentos de vegetación registrados como vegetación primaria en 1976, han cambiado en su estructura y fisonomía a vegetación secundaria para el año 2000 (1,885 km²). Los agentes de cambio vinculados a este proceso son, por un lado, el avance de la frontera agrícola de temporal y por otro, el avance de la actividad pecuaria de tipo extensivo que se practica en las áreas de vegetación natural. El quinto proceso es la degradación de los cuerpos de agua causado principalmente por las actividades humanas. En este sentido la agricultura de humedad, que se realiza en los márgenes de los cuerpos de agua, es la que mayor área ha ganado (103.63 km²). El Lago Chapala, junto con el Lago Cuitzeo, es uno de los espacios más afectados por esta dinámica.

La cuenca Lerma-Chapala abarca 47 acuíferos, de los cuales el Registro Público de Derechos de Agua tiene concesiones registradas en 43 para los siguientes usos: Agrícola (que integra agrícola, agrícola-doméstico-industrial, agrícola-pecuario), Público urbano (que integra público urbano, servicios domésticos y servicios-agrícola), Acuacultura, industrial, (que integra industrial, agro-industrial, agrícola-industrial), Pecuario, Múltiple y sin especificación.

El volumen total de extracción de agua tanto superficial como subterránea utilizada en la cuenca Lerma-Chapala es de 3,841 hm³ /año, donde el 20% corresponde a agua superficial y el 80% a agua subterránea. Los usos de agua subterránea sobrepasan ampliamente la extracción de agua superficial por lo que puede asegurarse que las actividades productivas en la cuenca Lerma-Chapala, con excepción de la acuacultura, dependen básicamente de la extracción de acuíferos. A los datos oficiales hay que agregar las tomas clandestinas y las extracciones superiores al volumen autorizado. Esto explica la fuerte situación de déficit de los acuíferos localizados en la cuenca.

La extracción de agua subterránea se realiza mediante 20,299 aprovechamientos subterráneos autorizados. El 76% es para uso agrícola, (3.7 más que el agua superficial para el mismo uso); 13% para uso público urbano con 412 hm³ /año (4.2 veces el agua superficial para el mismo uso); y 4.4% para uso industrial con 135 hm³ /año (7.5 veces más que el agua superficial para el mismo uso).

10. Usos del lago y sus instalaciones de desarrollo de recursos

El Área Metropolitana de Guadalajara (conurbación de diez municipios; Gobierno de Jalisco, 2021) constituye la segunda concentración urbana más grande de México. Su acelerado crecimiento, derivado del desarrollo económico de los sectores comercial e industrial, ha generado una creciente demanda de servicios públicos, entre los cuales destaca el abastecimiento de agua potable. En la actualidad, 62% del agua potable del área metropolitana de Guadalajara se obtiene del Lago Chapala.

El agua procedente del lago se conduce principalmente a través del acueducto Chapala-Guadalajara, sistema con capacidad de 7.5 m³ /s y longitud de 42.4 kilómetros. Una proporción menor pasa por el río Santiago y luego por el canal Atequiza-Las Pintas. En ambos casos es necesario bombearla para alcanzar la planta potabilizadora, a 250 metros por encima de la altura del lago.

Con respecto a presas, se han construido 552 en la cuenca Lerma-Chapala, de las cuales, según la clasificación ICOLD, 25% son grandes, 14% medianas y 43% chicas, desconociéndose el tamaño de un 18% (Cotler, et al, 2007). En conjunto pueden llegar a retener hasta 3,700 millones de metros cúbicos de agua, cuyo uso es principalmente agrícola. A esto hay que agregar las tomas clandestinas que se utilizan de forma irregular y discontinua, lo que hace difícil contabilizar su volumen.

Los volúmenes de captura de pesca mantuvieron por siglos a una población de pescadores localizados principalmente en el área de Chapala-Jocotepec, Mezcala y Cojumatlán (Jalisco), así como Petatán (Michoacán). 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. Sin embargo, se generó una reducción paulatina del volumen (atribuible a diversos factores: contaminación del agua, competencia/depredación por especies introducidas y sobrepesca) 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.

La pesca se realiza de forma semi-artesanal, por personas agrupadas en cooperativas o de forma individual. Entre las especies que más se capturan, se encuentra la tilapia, carpa, charal y por último el bagre. Entre los peces capturados los más identificables son los charales (de 8 a 12 centímetros). A pesar de su importancia y su carácter endémico destaca el poco interés de agencias de gobierno, organizaciones de pescadores y público en general sobre su conocimiento, conservación y uso sustentable. El nivel de desconocimiento del tema lleva a muchas personas a creer que especies introducidas, como la tilapia, son originarias del lugar.

En Cojumatlán (Michoacán) funcionan varias fileteadoras, que distribuyen el producto a diversas ciudades de la región. En la Isla de Mezcala se cuenta con una decena de jaulas flotantes, para la producción de bagre (una especie propia del Golfo) y tilapia. También existe un centro acuícola por parte del gobierno de Jalisco, ubicado en Tizapán el Alto, para producir crías de tilapia y bagre, además del mantenimiento experimental de pez blanco (ausente desde hace décadas en el lago). Periódicamente se liberan en el lago alevines (principalmente de especies exóticas) por parte del gobierno estatal y, en ocasiones, el federal.

En términos generales el sector pesquero ha sido el más débil en comparación con otros sectores productivos: inmobiliario, servicios turísticos, actividades agrícolas e industria; teniendo 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. La pesca como fuente generadora de ingresos tuvo un duro golpe en 2010 debido a la presentación de un estudio que reportó concentraciones de mercurio en el tejido de peces del lago, lo que redujo significativamente su consumo. La reacción del público y gobierno en este caso se centró en abandonar el consumo de productos pesqueros, sin resolver la causa de entrada de los contaminantes. A pesar de que la actividad se recuperó parcialmente tras el agudo desecamiento del lago entre 1999-2002, actualmente está a menos del 50% de los volúmenes previos a 1990 (Figura 5).

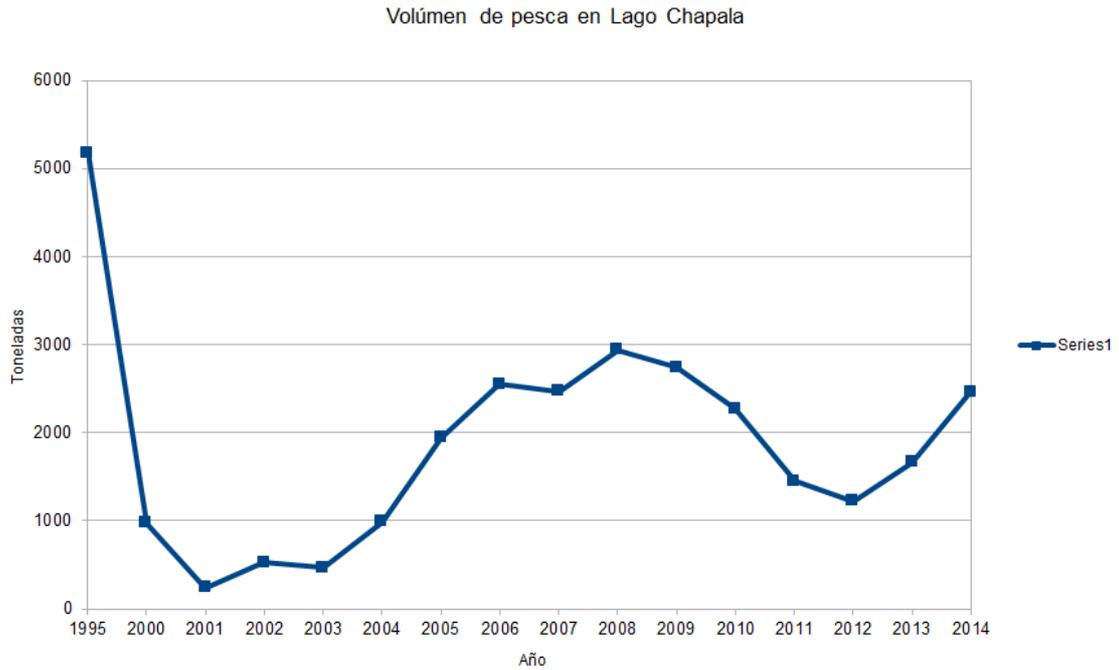


Figura 5. Volumen de pesca en Lago Chapala. Fuente: Elaboración propia con datos de SEDER (2016).

En cuanto a abundancia de especies, la más capturada es la mojarra (*Oreochromis niloticus*) que representa casi la mitad de la captura total, lo que representa un indicio de la fuerte disminución de las poblaciones de especies locales. La carpa (*Yuriria chapalae*) y los charales (*Chirostoma spp*) son importantes en cuanto a volumen, mientras el bagre (*Ictalurus dugesii*), y otras especies nativas representan una ínfima parte de la captura total.

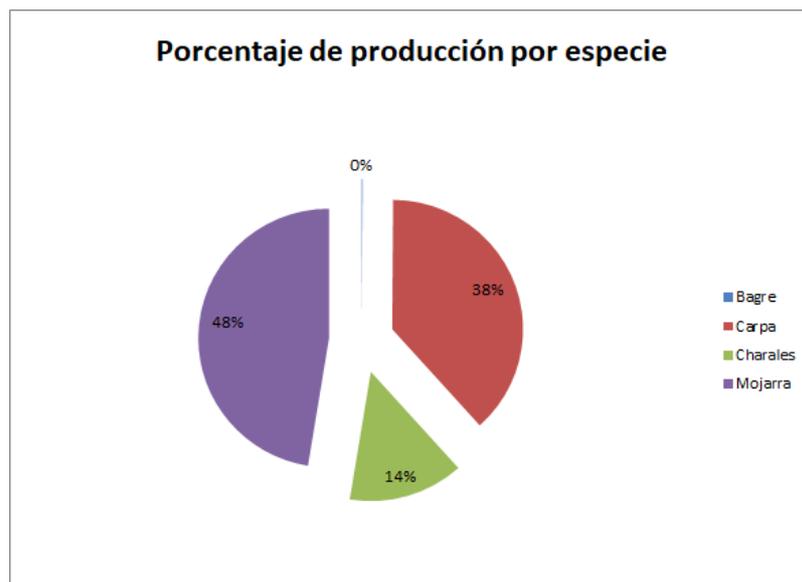


Figura 6. Porcentaje de producción por especie. Fuente: Elaboración propia con datos de SEDER (2016).

Las actividades que generan los mayores ingresos para la región que rodea el lago son el turismo y la agricultura. La primera beneficia directa o indirectamente a 80,000 personas, concentrados en la ribera noroeste, que se realiza principalmente en áreas urbanas, mientras que el turismo rural y de naturaleza está pobremente desarrollado. Existe una amplia oferta de alojamiento, desde hostales hasta hoteles lujosos, así como diversidad de alimentos y servicios turísticos asociados. Las acciones de los gobiernos municipales de la ribera con relación al turismo se han centrado principalmente en promover la belleza de sus paisajes y algunos de los elementos más vistosos (como las aves acuáticas, aunque este enfoque es emergente). La industria del turismo mantiene cierto nivel de conflicto con la pesca debido a la regulación laxa sobre la segunda, habiendo frecuentes quejas de los proveedores de servicios por la prevalencia generalizada de redes en zonas de navegación.

El turismo y el desarrollo urbano han sido poco planificados, generando fuertes presiones que han afectado las áreas forestales de las Sierras de Chapala. Como parte de este proceso se han asentado en las localidades de Ajijic y Chapala aproximadamente 12,000 estadounidenses y canadienses de forma semipermanente, que han modificado enormemente el mercado de bienes inmuebles. Residen en la zona principalmente entre noviembre y marzo, lo que les ha ganado el sobrenombre de "aves de invierno".

En el municipio de Chapala, el sector servicios rebasa la aportación económica del sector primario, justo debido a la elevada afluencia turística.

11. Impedimentos/deficiencias del uso de recursos del lago, incluyendo servicios de regulación entre servicios del ecosistema

Un efecto muy visible del exceso de nutrientes en el agua es la abundancia de lirio acuático, el cual forma extensas manchas flotantes que se mueven a consecuencia de la acción del viento, acumulándose principalmente en las orillas del lago. En 1993 la cobertura de lirio acuático alcanzó uno de sus puntos más altos: 135 km², (13% de la superficie del lago). De acuerdo con datos de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco entre 2007-2008 algunos manchones de lirio acuático llegaron a cubrir 7,000 hectáreas cada uno. A partir de 2008 se estableció como método de control la utilización de glifosato, fuertemente criticado por grupos de científicos aunque aceptado por la población en general por los rápidos efectos del mismo. Su utilización se abandonó tras un período de 8 años, dándose énfasis en la actualidad a la extracción con maquinaria, mediante un proyecto conjunto entre SEMADET y Aipromades-Lago de Chapala (Aipromades, 2021).

Coincidentemente, cuando ha habido reducciones de lirio se han reportado florecimientos de algas como la *Microsystis aeruginosa*, *Microsystis flos-aquae* y *Anabaena aff. Flos-aquae*. La sobreabundancia de algas y la reducción de la población de lirio, puede coincidir debido a que al desaparecer la macrófita deja un nicho abierto para el aprovechamiento de nutrientes.

Los iones sulfatos contribuyen a la salinidad del lago, estos tienden a formar sales con los metales pesados disueltos en el agua, así, un incremento de los

sulfatos presentes en el medio hídrico suele indicar la existencia de un vertido cercano (Guzmán-Arroyo 1997; García-Velasco 2001). Otro posible origen de los sulfatos es a través de la oxidación de los sulfuros de las capas anóxicas del lago, al mezclarse con el agua rica en oxígeno durante el intercambio vertical de agua del otoño (Guzmán-Arroyo 1997), el cual se efectúa por las descargas acuíferas del Río Lerma, que son más intensas durante ese período (García-Velasco 2001). Como respuesta a esta producción de sulfatos, el fitoplancton obtiene nutrientes para su crecimiento y reproducción (Cole 1975; Abalde 1995; Raven *et al.* 1999). Las muestras con altas concentraciones de sulfatos se caracterizan por una flora eutrófica que incluye especies como *Cyclotella meneghiniana* Kützing, 1844 y *Synedra ulna*, las cuales se relacionan con episodios de contaminación del agua (Ofarrell 1994) y *Gomphonema parvulum* (Kützing 1849) que se relaciona con episodios de mayor descarga de metales, después de la estación lluviosa (Monteiro *et al.* 1995). Adicionalmente, *Anabaena aff. spiroides*, *Microcystis aeruginosa* (Kützing 1846), *Nitzschia dissipata*, *Nitzschia amphibia* (Grunow 1862) (diatomea saprofítica asociada a la contaminación orgánica), y *Pediastrum duplex var. reticulatum* se observaron en este grupo de muestras (Brown y Olive 1995; Monteiro *et al.* 1995; Stoyneva 2003).

En cuanto a la afectación a zonas de humedal, hay un proceso intenso de ocupación de zonas de playa en la sección noroeste del lago, en una franja de 65 kilómetros de largo, que va desde San Juan Tecomatlán hasta Tuxcueca. Esto derivado de la intensa ocupación urbana y la presión turística, combinado con la falta de verificación y vigilancia por parte de las autoridades. Entre las construcciones que han invadido parcial o completamente espacios en el lecho del lago, se cuentan lo mismo construcciones particulares que infraestructura pública, incluyendo malecones y zonas de esparcimiento.

La percepción pública más generalizada es que los problemas del lago se relacionan directamente con su volumen de agua. Tras el agudo descenso del agua, que alcanzó su clímax en 2002, en el período 2003-2010 hubo abundantes estaciones de lluvia, con el lago fluctuando entre 50 y 75% de su volumen máximo. Las expresiones de interés sobre la salud del cuerpo de agua, tanto institucionales como individuales disminuyeron considerablemente en este período. La idea general es que al tener suficiente agua, "el lago está bien". Podría decirse que el líquido cubre los problemas que yacen debajo de la superficie: sedimentación, contaminación puntual y difusa, pérdida de biodiversidad, eutrofización, etc.

12. Causas de deficiencias o impedimentos

Los procesos erosivos a lo largo de la cuenca causados por deforestación y los cambios en el uso del territorio han arrastrado una gran cantidad de suelo que se mantiene constantemente en suspensión, debido a los vientos propios que soplan sobre el lago y a las características de las partículas que constituyen los sedimentos del fondo del mismo. Las estimaciones respecto al volumen de sólidos depositados en el lago varían ampliamente, siendo el cálculo más

sustentado el que refiere que entre 1930 y 1977 entraron en promedio 1.81 hm³ de sólidos. Lo anterior deriva fundamentalmente de la acelerada deforestación existente en toda la cuenca, reportándose la pérdida de 1 millón de hectáreas de vegetación natural en el período 1980-2000 (Cotler, et al, 2007); así como de prácticas de cultivo que dejan el suelo al desnudo y favorecen su arrastre, tanto en terrenos planos como en zonas de ladera, conocidos como ecueros o coamiles, los cuales tienen la particularidad de ser fértiles por cortos períodos de tiempo perdiendo después su capacidad productiva, lo que favorece su abandono.

Respecto a los municipios localizados en la subcuenca Chapala, se calcula que anualmente pierden entre 100 mil y 500 mil toneladas de suelo (dependiendo de la intensidad de la precipitación), los cuales contribuyen fuertemente al proceso de azolvamiento en presas, bordos y el propio Lago Chapala (Juárez, et al, 2013).

Como efecto del cambio del uso del suelo y prácticas agropecuarias inadecuadas, entre otros factores, más del 36% de la cuenca Lerma-Chapala presenta algún proceso de degradación de suelos. Entre los procesos de degradación con mayor distribución se encuentran la declinación de la fertilidad (que representa 22.7%) y la erosión hídrica superficial (10.3%). La distribución de los procesos de degradación en función de las zonas funcionales de la cuenca (cabecera, captación-transporte y emisión) presenta un patrón claro. En la zona de cabecera, cuya función esencial constituye la recarga de los acuíferos y de los cursos de agua (Brooks *et al.*, 1998) predomina la erosión hídrica. Esto involucra la pérdida de materia orgánica, partículas finas y la destrucción de agregados de la superficie del suelo, lo que ocasiona una disminución de la capacidad de infiltración, determinando un mayor escurrimiento superficial. En la zona de captación-transporte, donde se realizan las principales actividades agrícolas, el proceso de declinación de la fertilidad ocupa el 26% del área. Los sistemas de producción agrícola se caracterizan por una intensa mecanización, utilización de insumos químicos y escasa incorporación de abonos orgánicos así como producción en monocultivos, principalmente de cereales.

Otro tema importante es la retención de líquido en presas, para fines agrícolas (tan solo en la región de El Bajío se cultivan cerca de 750 mil hectáreas) y de uso urbano o doméstico para satisfacer las necesidades de agua para los habitantes de la cuenca. Existe una alta competencia entre grupos de usuarios, agravada por la escasa eficiencia en el uso del agua, que en caso del sector agrícola puede ser tan baja como 30%, debido a la poca tecnificación y a problemas de planeación de la distribución.

13. Respuestas estructurales de manejo

A partir de la década de los ochenta la cobertura de sistema de alcantarillado en los municipios de la ribera del lago aumentó sustancialmente (en los municipios del estado de Jalisco), alcanzando un promedio de 89.86 % (Seplan, 2019).

Sistemas de alcantarillado

Estado	Municipio	Porcentaje de cobertura del servicio de alcantarillado (año 2019)
Jalisco	Chapala	92.47
Jalisco	Jocotepec	88.73
Jalisco	Jamay	99.48
Jalisco	Ocotlán	91.31
Jalisco	Tuxcueca	64.79
Jalisco	La Barca	99.26
Jalisco	Tizapan el Alto	92.98
Promedio		89.86

Tabla 4. Porcentaje de cobertura del servicio de alcantarillado. Fuente: Elaboración propia con datos de Seplan, 2019.

Sin embargo, el porcentaje de aguas negras que reciben tratamiento antes de ser descargadas, es de solamente 72.23% (Seplan, 2019).

Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Municipio	Porcentaje de aguas residuales tratadas (año 2019)
Tizapan el Alto	88.54
Tuxcueca	88.75
Jocotepec	73.29
Chapala	95.49
Poncitlán	14
Ocotlán	89.06

Jamay	74.48
La Barca	54.25
Promedio	72.23

Tabla 5. Porcentaje de aguas residuales tratadas. Fuente: Elaboración propia con datos de Seplan, 2019.

En 2010 se creó de la Asociación Intermunicipal para la Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala (Aipromades), un organismo público descentralizado que vincula a 16 gobiernos municipales de Jalisco en la toma de decisiones conjunta para la identificación e implementación de proyectos ambientales.

14. Respuestas de manejo no estructurales

Regulaciones formales:

La Ley de Aguas Nacionales (1992, reformada en 2020), sustentada en el Artículo 27 de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos es el marco institucional para la gestión de aguas en el país. El ejecutivo federal, a través de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) ostenta el poder de decisión sobre las aguas nacionales, en este caso específico a través del Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico como unidad técnica, jurídica y administrativa, con apoyo de su Consejo de Cuenca (integrado por sectores de usuarios) y supervisada por consejos consultivos.

El Consejo de Cuenca funciona con carácter consultivo y como espacio para discutir y concertar entre los sectores involucrados en la gestión del agua. Su existencia no constituye un traslado de capacidades relacionada con el poder y asignación de recursos, ya que en caso de desacuerdo, la decisión final se la reserva la Conagua, a través del Organismo de Cuenca (Cotler, et al, 2007). La estructura del Consejo de la Cuenca ha evolucionado con el tiempo, aunque su enfoque básico permanece: el agua es un recurso a distribuir, basando su acción sobre la asignación de concesiones de uso, de forma aislada al manejo de cuencas hidrográficas, en temas como el manejo de la agricultura, forestal y de zonas urbanas; promoción pública, educación ambiental y otros.

Como instrumento técnico para la toma de decisiones se utiliza el Convenio de Distribución de Aguas Superficiales (2004), el cual toma como marco de referencia para la distribución de aguas superficiales el volumen del Lago Chapala al 1 de noviembre de cada año. El instrumento ha resuelto algunos conflictos sobre el acceso al agua, incluso en condiciones de sequía, tema sobre el cual ha habido fuertes roces por los enfrentamientos entre sectores.

En lo relativo al control de descargas contaminantes de tipo industrial, existe una serie de regulaciones federales de escasa aplicación debido a la alarmante falta de verificación y vigilancia.

Con relación a las dos subcuencas adyacentes al lago (Zula y Chapala) está en proceso de aprobación el Programa de Ordenamiento Territorial de la Región Chapala, por parte del gobierno de Jalisco. Existen tres áreas naturales protegidas (ANP) alrededor del Lago Chapala (Cerro Viejo-Chupinaya-Los Sabinos, decretada en 2013, San Miguel Chiquihuitillo y Sierra Cóndiro Canales, ambas del 2018) cubriendo una superficie total de 410 km².

Regulaciones informales:

En febrero de 2009, el Lago Chapala obtuvo el estatus de Sitio Ramsar, lo que derivó en la elaboración de su Programa de Conservación y Manejo (2010) bajo la coordinación de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Sin embargo, debido a inconsistencias legales, no está claro cuál institución debe responsabilizarse de su aplicación, ya que la categoría Ramsar no tiene un equivalente de protección en el marco legal de México. El Programa de Manejo del Sitio Ramsar incluye líneas de acción específicas (Protección, Gestión, Restauración, Investigación y CECA -Comunicación, Educación y Conciencia Pública-). Sin embargo el cumplimiento de las mismas es voluntario, por lo que su aplicación ha sido escasa y no ha tenido actualización a lo largo de diez años.

Diversos ejidos y comunidades indígenas aplican regulaciones internas, a través de acuerdos comunitarios, para el uso y conservación de zonas forestales, en particular las denominadas “zonas de uso común”, las cuales deben ser consultadas y aprobadas en asamblea comunitaria o ejidal. Es el caso del Sendero el Tepalo (municipio de Chapala), un espacio de uso deportivo y recreativo que funciona como entrada a un área montañosa, cuyo acceso es regulado por los miembros de la Comunidad Indígena de Ajijic.

En la comunidad indígena de Mezcala hay una fuerte tradición de cuidado de sus bosques, negándose a aceptar desarrollos inmobiliarios y cultivos de agave, a pesar de la tentación de ingresos que esto representaría y las presiones económicas subyacentes. En la Sierra Cóndiro-Canales diversos ejidos tienen acuerdos de uso restaurativo y conservación para las zonas de uso común. Está en proceso de formación una red de espacios demostrativos (de producción y conservación) como forma de capacitación, intercambio de experiencias y fortalecimiento de trabajo en redes.

El incentivo económico más utilizado en la zona es el Pago de Servicios Ambientales, desde el 2006, cuya superficie beneficiada en 2020 fue de 3 mil hectáreas (FIPRODEFO, 2021). Existe potencial para profundizar dicho mecanismo, a través del Fondo Forestal Mexicano, que permite a empresas o particulares realizar aportaciones directas, para ser usadas como fondos concurrentes.

Conciencia pública:

Existen actividades de comunicación y educación ambiental como el caso del Festival de la Aves del Lago Chapala y su Cuenca, organizado en formato casi anual por el Instituto Corazón de la Tierra y organizaciones aliadas. Actualmente la misma organización acaba de lanzar una Plataforma de Educación Ambiental del Lago Chapala (www.lagodechapala.org), en la cual se destaca la importancia, características, problemática y soluciones de la cuenca del lago, para promover que grupos y organizaciones locales identifiquen acciones y proyectos en la zona (restauración forestal, agroecología, conservación voluntaria, ecotecnologías, etc) para promover cooperación y estrategias comunes de conservación.

15. Información socioeconómica

En la cuenca Lerma-Chapala habitan más de 20 millones de personas y se concentra una parte importante de las actividades agrícolas e industriales del país, lo que aunado a que las dos ciudades más grandes del país son usuarias del mismo (la Ciudad de México en la cuenca alta y Guadalajara en la cuenca baja) han generado una fuerte presión sobre los recursos boscosos y el agua disponible, tanto superficial como subterránea.

El idioma que se habla en toda la cuenca es el español, además de algunas lenguas indígenas en proporción marginal. Asimismo hay dos concentraciones importantes de pobladores estadounidenses-canadienses, superiores cada una a las 10 mil personas, una en San Miguel de Allende (Guanajuato) y la otra en Ajijic (Jalisco). El valor cultural del Lago Chapala es amplio, considerando lo antiguo de la ocupación humana en el área y el valor simbólico y religioso para la comunidad wixarika (uno de cuyos sitios sagrados es el lago) y los grupos de descendientes nahuas (como Mezcala) que aún conservan aspectos y tradiciones de respeto a diversos sitios y formaciones naturales en la ribera del lago.

La Cuenca Lerma-Chapala mantiene patrones de desarrollo industrial y comercial en una extensa red que guarda una conexión importante con la Ciudad de México y Guadalajara. El análisis de los tipos de nivel socioeconómico proporciona información importante sobre el comportamiento de la dinámica de la cuenca Lerma- Chapala, da un panorama sobre las zonas más desarrolladas y su interacción con otros polos de crecimiento. Asimismo, enmarca áreas poco desarrolladas y con poco potencial para acceder a los flujos económicos y por consiguiente una mejor calidad de vida para sus habitantes.

En general las zonas más desarrolladas de la cuenca se encuentran vinculadas a las áreas urbanas como Querétaro-Corregidora, León-San Francisco del Rincón, Morelia y la ribera norte lago de Chapala, y a la intensa actividad industrial-comercial de los corredores de Lerma-Toluca-Atlacomulco-Jilotepec (cuenca alta) y Celaya-Salamanca-Irapuato-León (cuenca media), así como a

otros municipios como Zacapu, Ixtlahuaca y Tlajomulco. Estas zonas de alto desarrollo se encuentran relacionadas con áreas de mediano desarrollo, predominantes en la parte media de la cuenca, con las que mantienen una clara relación comercial y social.

Las localidades con un nivel socioeconómico medio o alto, que representan el 54% de las ciudades de la cuenca, poseen un potencial de crecimiento socioeconómico mayor, ya que además de tener una mayor cantidad de capital humano y financiero acumulado, cuentan con mejores vías de comunicación que facilitan sus actividades productivas.

Las porciones menos desarrolladas del territorio se encuentran al noreste y al sur de la cuenca, en municipios de los estados de Guanajuato y Michoacán, así como en varios municipios del Estado de México.

Las localidades con niveles socioeconómicos bajos y muy bajos, tienen un mayor porcentaje de población con bajos índices de escolaridad; bajos niveles de ingreso y un bajo porcentaje de la población involucrada en actividades productivas, lo que limita la acumulación de capital financiero. Asimismo, son localidades que mantienen gran parte de su mano de obra en sectores de actividad con bajo valor agregado y presentan deficiencias en servicios como agua, alcantarillado y energía eléctrica. Dentro del territorio de la cuenca no encontramos grandes extensiones que presenten un nivel de desarrollo muy bajo, al contrario hay que hacer notar que las zonas más desarrolladas de los estados de Guanajuato, Michoacán y Querétaro están ligadas a la dinámica económica de la cuenca Lerma-Chapala.

Entender el funcionamiento económico de la cuenca permite comprender los intereses que marcan el destino actual de los recursos financieros (públicos y privados), humanos y naturales. Conociendo los intereses de los agentes económicos se puede inferir el manejo de los recursos y el impacto de las actividades productivas en la dinámica socio-ambiental de la cuenca. La importancia económica que adquiere un sector de actividad está marcada básicamente por la población que emplean y por el valor que aportan a la dinámica económica de la cuenca. Los sectores que dominen estos indicadores serán los que impacten de forma contundente la dinámica socioeconómica y posiblemente la ambiental.

Dinámicas de población

Subcuenca Zula

Municipio	Población
Ocotlán	106,050
La Barca	67,937
Atotonilco el Alto	64,009

Tototlán	23,573
Arandas	80,609
Jesús María	18,982
Unión de San Antonio	19,069
San Diego de la Alejandría	7,609
Ayotlán	41,552
Degollado	21,226
Total	450,616

Tabla 6. Dinámica de población Subcuenca Zula. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2020.

Subcuenca Chapala

Municipio	Población
Poncitlán (Jalisco)	53,659
Chapala (Jalisco)	55,196
Jamay (Jalisco)	24,894
Jocotepec (Jalisco)	47,105
Tuxcueca (Jalisco)	6,702
Mazamitla (Jalisco)	14,043
Tizapan el Alto (Jalisco)	22,758
La Manzanilla de la Paz (Jalisco)	4,099
Venustiano Carranza	23,469
Sahuayo	78,477
Pajacuaran	21,028
Cojumatlan	9,980
Marco Castellanos	13,983
Villamar	15,864
Jiquilpan	36,158
Total	427,415

Tabla 7. Dinámicas de población en la subcuenca Chapala. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI 2020.

Las principales actividades económicas de los municipios de las subcuencas Zula y Chapala son: agricultura, ganadería y pesca; industria extractiva; industria manufacturera; industria de la construcción; comercio; transporte y servicios comunales; y establecimientos financieros (INEGI, 1994). Los cultivos más importantes en la parte de Jalisco son el sorgo y el maíz; en Jocotepec el garbanzo es muy importante y las hortalizas en Tizapán; el cultivo de trigo es notable en Jamay y Poncitlán. En cuanto a Michoacán, en el distrito de riego de la ciénega de Chapala los principales productos son: sorgo, alfalfa, trigo, maíz, avena y fresa; en los distritos de temporal se obtiene principalmente sorgo y maíz. Por otra parte, en Ocotlán y Sahuayo destaca la actividad industrial manufacturera.

16. Situación política

El conjunto de la cuenca Lerma-Chapala se localiza en México, abarcando territorio de cinco estados: Estado de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco. 206 municipios se localizan dentro de dicho territorio.

En 2010 se aplicó un diagnóstico de gobernanza en tres de las 19 subcuencas de la cuenca Lerma-Chapala (Allende, Pátzcuaro y Chapala), utilizando como base la Plataforma de Manejo Integral de Cuencas o ILBM (ILEC, 2003) mediante una metodología creada ex profeso para ello, que consta de 60 indicadores (Juárez, 2013). La metodología incluye un proceso de investigación participativa, que permitió el involucramiento de 36 instituciones (académicas, gubernamentales, privadas y de la sociedad civil). La metodología se aplicó nuevamente diez años después (Tinoco, et al., 2020) permitiendo un interesante análisis comparativo, que muestra mejoría en varios aspectos y retroceso en otros, aunque el indicador general de gobernanza mejoró de manera significativa.

Considerando los seis pilares de gobernanza ILBM (Información, Participación, Instituciones, Políticas de manejo, Tecnología y Financiamiento) resulta evidente con base en los resultados que los aspectos mejor desarrollados en la subcuencas analizadas son Información, Participación, Instituciones y Políticas de manejo (aunque su nivel es medio-bajo, entre 4-5 en una escala de 0 a 10); mientras los menos desarrollados son Tecnología y Financiamiento (con valores entre 2-3). Entre los indicadores individuales más preocupantes, se encuentran la escasa disponibilidad presupuestal para el manejo de la cuenca, la dificultad para acceder a dichos recursos, la falta de incentivos para la participación comunitaria, dificultades para acceder a los resultados de las investigaciones realizadas en la zona y el escaso uso de las mismas por parte de tomadores de decisiones; la falta de aplicación de las leyes existentes, la falta de tratamiento de las descargas industriales así como el arrastre de elevados volúmenes de fertilizantes y pesticidas de sitios agrícolas al cuerpo de agua.

17. Historias de Impacto

1) Sequías y desbordamientos del lago.

Los momentos en que el lago ha registrado descensos y volúmenes por encima de lo acostumbrado, han quedado marcados en la memoria colectiva. De las temporadas de descenso, la más grave de los últimos 50 años ocurrió en 2002, tras un período de siete años de continua reducción. El lago llegó a solamente 14.4% de capacidad, siendo posible caminar en amplias áreas por el fondo desecado. Dicha circunstancia generó una serie de movilizaciones importantes, cuyo eje fue la liberación de agua de las presas localizadas en la cuenca alta y media. Dichas manifestaciones fueron encabezadas por organizaciones civiles y sectores universitarios de Jalisco (cuenca baja), contrapuestos a los sectores agrícolas de Guanajuato (cuenca media).

En 2003-2010 hubo estaciones de lluvia abundantes, alcanzando el lago una recuperación importante, con volúmenes de entre 50 y 75%. Ante ello las expresiones de preocupación sobre el cuerpo de agua disminuyeron considerablemente. A partir de esta etapa se consolidó la idea general de que al tener suficiente agua, "el lago está bien" (Juárez, et al, 2021). Actualmente el volumen del lago se monitorea y reporta todos los días en medios de comunicación, lo que junto con el aspecto visual, tiene preponderancia entre las reacciones del público. En 2018 el lago registró su almacenamiento más alto desde 1971 (un período de casi 40 años), llegando a un 80% de almacenamiento. El agua cubrió algunas construcciones privadas y públicas que invadían el lecho del lago. Curiosamente, la percepción que se generó en una parte importante de la población (principalmente del Área Metropolitana de Guadalajara), fue que el cuerpo de agua estaba a plena capacidad, asegurándose que por esa razón el agua se había "desbordado".

2) El uso de pesticidas y sus efectos en el lago

La agricultura representa la principal actividad productiva alrededor del Lago Chapala, para lo cual utiliza grandes volúmenes de fertilizantes y pesticidas. Sin embargo la misma fue percibida durante décadas como una actividad benévola y sin efectos negativos en el ambiente. En 2013 se presentó un estudio realizado a lo largo de dos años, tanto en Jalisco como en Michoacán, que arrojó datos preocupantes al respecto. Fue la primera y hasta ahora única investigación realizada sobre este tema en la región (Rivera, et al, 2013).

Se aplicaron entrevistas en sitio con productores sobre tipos de cultivo y volúmenes de aplicación de agroquímicos, en tres modalidades de cultivo: de riego, de temporal y de ladera (ecuario), este último realizado en las pendientes de zonas montañosas. Se detectó una dominancia de superficies de cultivo mayoritariamente pequeñas (entre 1 a 6 ha) y se identificó el uso de siete

fertilizantes principales, así como 18 sustancias activas de herbicidas y 23 de plaguicidas. Es importante señalar la presencia de compuestos con alto grado de toxicidad, entre estos paratión metílico y carbofuran.

Los fertilizantes más usados fueron: urea, fórmula triple, sulfato de amonio, nitrato, potasio, fosfonitrato, y mezcla física. La aplicación promedio fue de 254 kg/ha, lo que representa más de 26 mil toneladas al año para toda la zona agrícola de estudio.

Para el caso de los herbicidas se reportó 1.9 kg/ha/año y para los plaguicidas 1.4 kg/ha/año. Considerando el nivel de toxicidad reportado para cada sustancia encontrada se identificó que un total de 22 sustancias activas de herbicidas y pesticidas tienen efectos clasificados como Nivel II (Altamente Tóxico) o Nivel I (Extremadamente Tóxico) para plancton, aves y peces, tres elementos clave para el ecosistema acuático (Juárez, coordinador, 2013).

Es importante señalar que, entre las sustancias de alta toxicidad, en Jalisco se reportó el uso amplio de paratión metílico, mientras que, en Michoacán, diferentes productores mencionaron el producto prohibido aldrin.

Los resultados se presentaron de forma amplia con productores, investigadores, instituciones de gobierno y medios de comunicación, generando diversas reacciones, siendo una de las más importantes el reconocimiento del tema y el favorecimiento del incremento de esfuerzos de la agricultura orgánica y agroecológica en la zona, que han aumentado. Sin embargo la mayor parte de dicho esfuerzo la han realizado los productores y organizaciones civiles, con una participación menor de instancias de gobierno.

3) Invasión de zonas litorales.

Una franja de invasiones al lecho del Lago Chapala se presenta desde la ciudad de Chapala hasta el poblado de San Luis Soyatlán, abarcando aproximadamente 75 kms, coincidiendo en su mayor parte con el corredor urbano del noroeste del lago. Este es un tema mencionado de manera constante por grupos locales y que ha sido difundido en varios reportajes de medios locales y estatales, con escasa respuesta de las autoridades responsables.

“El Organismo de la Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico confirmó que entre 2010 y 2020 se han hecho sólo 141 inspecciones, en las cuales 85 de los usuarios no acreditaron contar con el título de concesión para ocupar la zona federal. Pese al problema de las invasiones ilegales en el Lago de Chapala, la última inspección realizada por la Comisión Nacional del Agua fue en 2018”. (Periódico El Informador, 06 de Agosto del 2021)

Asimismo, en la última década la Conagua emitió 90 “sanciones económicas” y “no económicas” por la presencia de asentamientos ilegales, invasiones o rellenos detectados sobre la zona federal del Lago de Chapala. Sin embargo, las últimas se aplicaron en 2013. (Periódico El Informador, 06 de Agosto del 2021).

De acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales se considera como “ribera o zona federal” una franja de 10 metros adyacente al cauce de agua corriente y al vaso de cuerpos de agua, considerando la creciente máxima histórica registrada. En dicha zona no se puede construir nada de forma permanente. Sin embargo y a pesar de diversas solicitudes en ese sentido, no existe una delimitación física (mojonera) que marque la línea de la zona federal del Lago Chapala, lo que facilita las invasiones referidas.

Por la laxitud de la vigilancia, sobre dicha zona se han construido desde embarcaderos y áreas verdes hasta mansiones, restaurantes e incluso infraestructura pública, como diversos malecones, como los de San Antonio Tlayacapan, Ajijic y Mezcala.

4) Creación de Cinturón Verde (Áreas Naturales Protegidas)

Existe un proceso de integración de zonas montañosas localizadas alrededor del lago (las Sierras de Chapala) como parte de una red de áreas naturales protegidas (ANP), para conservar un amplia área de recarga de agua y de generación de otros servicios ambientales. Por su localización y forma se le denomina “Cinturón verde”. Este conjunto de siete sierras alimenta los ríos Zula y La Pasión, además de centenares de pequeños arroyos que drenan al Lago Chapala.

La propuesta, liderada por la Aipromades Lago de Chapala, ya ha conseguido la declaratoria de tres ANP, todas de carácter estatal. Al declararlas protegidas se busca evitar su deforestación y degradación. El proceso para cada una incluyó un estudio técnico justificativo, una serie de consultas públicas y una declaratoria formal por parte del ejecutivo de Jalisco.

En 2013 se consiguió la declaratoria de la primera, Cerro Viejo-Chupinaya -Los Sabinos (23 mil hectáreas). En 2018 se decretó la Sierra Cóndiri Canales (SCC, con 6 mil hectáreas) y el Cerro San Miguel-Chiquihuitillo (12 mil hectáreas).

Se pretende hacer lo mismo con el Cerro Gomeño, Cerro San Bartolo-Los Ocotes, el Cerro de García y El Picacho- Gachupín. De completarse el proceso, se contaría con un espacio forestal protegido de 99 mil hectáreas.

Sin embargo, las áreas ya decretadas aún no cuentan con personal asignado, consejos ciudadanos constituidos ni presupuesto específico, aunque se han realizado acciones aisladas por parte de varias instituciones. Aún así, su condición de protección es conocida por grupos locales y pobladores, que le han otorgado cierto nivel de importancia. Asimismo, la categoría de protección ha resultado de interés para medios de comunicación, que se mantienen atentos a perturbaciones en dichas áreas.

Para el caso de la Sierra Cóndiri Canales, desde el 2002 se ha impulsado el mejoramiento de prácticas productivas y de gestión forestal. Se han realizado

más de 90 proyectos pequeños y medianos (reforestación, conservación del suelo, control de plagas, agricultura orgánica, instalación de ecotecnias) acompañado de un proceso de capacitación y fortalecimiento organizativo con 8 comunidades campesinas. Los logros de este esfuerzo, denominado Programa de Desarrollo Sustentable de la SCC han recibido premios y reconocimientos en México y el extranjero. La coordinación del proyecto la realiza el Instituto Corazón de la Tierra. En la implementación de proyectos han participado 23 instituciones, (gubernamentales, de la sociedad civil, universidades y otras). Este entramado de proyectos y vinculaciones locales facilitó el proceso de declaratoria de área natural protegida y es una ventaja importante para impulsar el manejo sustentable del área.

5) Daño renal en la ribera de Chapala.

Jalisco ocupa el séptimo lugar, a escala nacional, por defunciones por daño renal, con una incidencia de mortalidad de 8.61 por cada 100 mil habitantes, de acuerdo con la Secretaría de Salud (2019). La localidad de San Pedro Itzicán, ubicada a la orilla del lago, en el municipio de Poncitlán y con tan solo 5,199 habitantes es, de acuerdo con el Sistema de Datos Renales de Estados Unidos de América, la población con la tasa más alta del mundo de enfermos renales. Ahí cada familia conoce por lo menos a una persona con enfermedad renal. A consecuencia de una serie de reportajes que aparecieron en el 2015, se conoció esta circunstancia dramática, que también afecta a la cercana población de Mezcala. Esta enfermedad se da de manera muy extensa, principalmente en niños.

Un estudio realizado por la Universidad de Guadalajara identifica una combinación de causas para esta enfermedad, que tienen que ver principalmente con el consumo del agua fósil (alto contenido en minerales), el uso de pesticidas de alta toxicidad y condiciones de desnutrición. Felipe Lozano Kastens, investigador de la Universidad de Guadalajara, explica que “este daño renal existe en la tercera generación, o sea, los nietos. Esta enfermedad no se había visto ni en los padres ni en los abuelos, se ve en esta generación”. Un estudio que hizo el laboratorio K. Prime Inc. de Estados Unidos, señaló que en la laguna y los pozos que abastecen de agua para consumo a San Pedro Itzicán, se detectó la presencia de 10 metales pesados.

En diciembre de 2019, la Secretaría de Salud de Jalisco realizó un estudio para determinar el nivel del daño renal que pueden tener los 49,598 niños que asisten a la escuela en siete municipios de la ribera de Chapala. El proyecto establecía que entre febrero y diciembre de 2020 se tuvieran 24 mil muestras para el tamizaje; pero, la pandemia causada por el COVID-19 y la suspensión de clases presenciales entorpeció la investigación. Hasta ahora se han realizado estudios a 1,629 menores de San Pedro Itzicán y 80 de ellos presentaron daño renal (UAM, 2021).

El tema fue incluido dentro del estudio “Área de Influencia por Contaminantes del Río Santiago” impulsado por la Comisión Estatal de Derechos Humanos de Jalisco (2021), el cual contó con la participación de 23 investigadores de universidades e instituciones privadas.

6) Malezas acuáticas.

La gran mayoría de las presas y lagos en la cuenca Lerma-Chapala está afectada por la presencia de malezas acuáticas, sobre todo lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), la cual se ha intentado controlar de muchas maneras, incluidas la cosecha manual y mecánica, trituración de plantas, uso de herbicidas y control biológico (utilizando escarabajos parásitos). En el control de esta planta han sido invertidos cientos de millones de pesos en la cuenca (aunque no hay una cuantificación precisa de la cantidad) sin que, hasta la fecha haya una solución adecuada, ya que la planta continúa prosperando debido a la abundancia de nutrientes disueltos, provenientes tanto de aguas de drenaje como de agroquímicos arrastrados por la lluvia.

Un intento peculiar de control fue la introducción de manatíes en el Lago Chapala en 1962 (Márquez, 1993), que no prosperó debido a la muerte de los animales. Una versión indica que fallecieron “por frío” al no adaptarse a las condiciones locales, mientras otros refieren que fueron muertos por los pescadores, que no habían tenido ningún contacto previo con esa especie y no fueron informados de su introducción.

18. Temas clave de gobernanza en la cuenca

1. Una dificultad importante en el contexto de la región es el **bajo costo del agua**, que recibe subsidios (variables pero a menudo altos) para uso público urbano. El agua de riego agrícola es gratuita, pagándose sólo el uso de la infraestructura de distribución. Esto significa que no hay incentivos para el uso adecuado del recurso, lo que ha llevado (junto con otros factores) a la sobreexplotación de las aguas subterráneas y superficiales.
2. En el caso del **pago por uso urbano, este se mantiene artificialmente bajo** debido a la percepción política (ampliamente compartida por diversos partidos políticos) de que aumentar el costo representa un menoscabo en la percepción pública, que podría reflejarse en pérdida de votos. Esto contrasta con la reducida disponibilidad de agua, de tan sólo 1,820 m³ por persona/año, que según los estándares internacionales se considera "Muy baja". En el caso del **uso agrícola**, los únicos que tienen derecho a aplicar advertencias y multas a usuarios de agua no autorizados (una práctica muy común, realizada mediante la construcción de canales sin permiso o mediante extracción directa con bombas eléctricas) son los inspectores de CONAGUA, que están abrumados por su escaso número y el enorme territorio que debe cubrirse. En la región,

los agricultores dicen que "es más fácil que te caiga un rayo a que llegue un inspector de la CONAGUA".

3. Desde 1950 hasta la fecha, **el gobierno federal ha intentado cinco veces establecer un "Plan Maestro"** para administrar la cuenca en su conjunto. Sin embargo, los intentos desarrollados en cada ocasión han sido instrumentos técnicos con diversos grados de calidad, pero carentes de respaldo social, lo que ha suscitado una fuerte resistencia contra su implementación. El más reciente esfuerzo fue una iniciativa llamada "Estrategia general para el rescate ambiental y la sostenibilidad de la cuenca Lerma-Chapala"(2011) cuyo enfoque dividía la cuenca en cinco subregiones correspondientes al territorio de cada gobierno estatal en la cuenca (Estado de México, Querétaro Guanajuato, Michoacán y Jalisco). El enfoque estaba supeditado a factores político-administrativos más que de funcionamiento de la cuenca, con escaso involucramiento de los grupos que ocupan el territorio.
4. La **participación de las organizaciones de la sociedad civil (OSC)** ha sido variada y con diferentes niveles de desarrollo. Como conjunto, sus actividades han pasado por varias etapas: la inicial y la más larga centrada en denunciar problemas de contaminación y riesgos ambientales, enfoque que muestra crecimiento en los momentos históricos de bajo nivel del Lago Chapala. Entre las acciones a este respecto se incluyen manifestaciones, marchas, conferencias de prensa y reclamos legales. La aparición y muerte de OSC ha sido una constante, siendo escasas las que sobreviven por períodos largos. Sin embargo, estas pocas han jugado roles muy valiosos, al condensar aprendizajes y experiencias. Estas están mayormente centradas en el desarrollo de proyectos (forestales, pesqueros, agrícolas) y desarrollo de capacidades locales, así como información pública y educación ambiental. A partir de 2005 ha habido un aumento en las acciones conjuntas de organizaciones civiles entre sí, y con instancias académicas y grupos gubernamentales. En cuanto a la población en general, ha habido poca participación en los procesos, siendo uno de los temas pendientes que deben abordarse a profundidad.
5. Los mecanismos de financiamiento actuales para la gestión de cuencas son generalmente escasos y/o inadecuados, problema identificado al menos desde 1980, tanto a nivel federal como por otros grupos de interesados. Un ejemplo: el costo de la **construcción de plantas de tratamiento de aguas negras domésticas** es absorbido principalmente por las comisiones de agua de los estados. La operación de las plantas le corresponde a los municipios, quienes enfrentan serias dificultades para ello, en muchos casos debido a la falta del cobro eficiente del agua. Con frecuencia las plantas de tratamiento son abandonadas tras uno o dos años de uso, incluso dándose casos en los que el municipio se niega a recibir la obra y hacerse responsable de la misma. Hay casos especiales que merecen atención, como la operación de la Oficina de Agua Potable y Alcantarillado de León (Guanajuato), que es prácticamente autosuficiente, por el sistema de tarifas implementado a fines de la década de 1980, el cual enfrentó fuerte resistencia social al principio, que se

resolvió mostrando la mejora del servicio. También es interesante el uso de sistemas de tratamiento alternativos, como los humedales artificiales instalados en varios puntos alrededor del lago de Pátzcuaro (década del 2000) y del Lago Chapala. Otro ejemplo útil fue el “Fondo Verde” establecido en el municipio de San Miguel de Allende (2008-2011), que a través de una serie de cargos y multas financiaba pequeños proyectos para la restauración de cuerpos de agua, reforestación y educación ambiental, entre otros. Este fondo se integró a pesar de los cambios de administración, contando también con mecanismos de transparencia que, aunque perfectibles, lograron ganar apoyo social.

6. Con respecto al **manejo y conservación forestal**, La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) es la institución que gestiona mayores niveles de recursos para financiar una gama de actividades, como conservación de suelos, viveros, reforestación, control de plagas forestales, entre otros. A pesar del sólido desarrollo en algunas áreas, el esquema que utiliza (dirigido directamente a los propietarios de tierras forestales) muestra debilidades como la falta de atención dirigida a áreas prioritarias para la recarga de aguas subterráneas y el riesgo de no tener recursos para etapas secuenciales de restauración forestal, por ejemplo. Varias secretarías y comisiones de nivel estatal tienen funciones similares con diferentes grados de efectividad.

19. Principales desafíos de gobernanza

El contar con diagnósticos de gobernanza (realizados en 2010 y 2020) es una ventaja importante, ya que los mismos señalan los aspectos más débiles, el nivel de avance de los componentes de gobernanza y los puntos de intervención urgentes. Entre los indicadores menos desarrollados, se encuentran los siguientes:

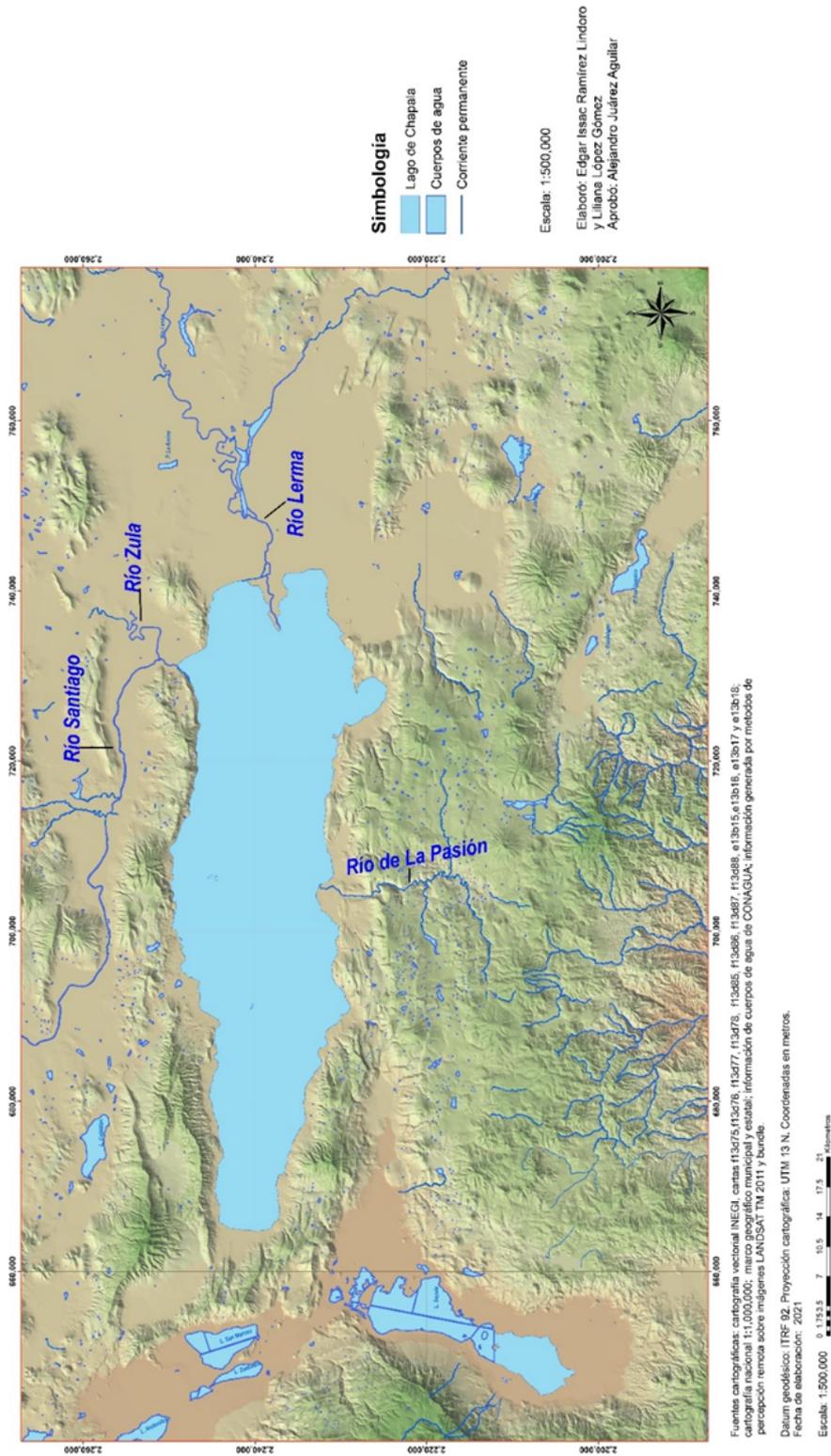
- a) **Escasa disponibilidad presupuestal** para el manejo de la cuenca y dificultad para acceder a dichos recursos. El Fondo Forestal Mexicano tiene potencial para consolidar recursos provenientes de empresas para conservar las zonas de mayor calidad forestal, mediante pago de servicios ambientales. Ligar este fondo a la iniciativa de Cinturón Verde, adicionando recursos del gobierno estatal y/o federal abonaría de forma importante al respecto. Crear un fondo parecido proveniente de impuestos a la actividad turística podría funcionar de manera similar, dado el alto impacto que dicha actividad tiene en la ribera noroeste del lago. Ambos podrían ser el antecedente para crear un fondo para el manejo y recuperación del Lago Chapala, fortaleciendo los diversos instrumentos de manejo existentes o en proceso.
- b) **Falta de incentivos para la participación comunitaria.** A través de la implementación de proyectos locales se han fortalecido capacidades de

grupos comunitarios, principalmente en las subcuencas Zula, Allende y Chapala. El trabajo comunitario, enfocado a empoderar a los grupos poseedores o usuarios de tierras debe fortalecerse en la cuenca (ya que el porcentaje de población involucrado es mínimo), tomando como base las experiencias exitosas previas. Asimismo lo ya realizado requiere amplia visibilización. La articulación de grupos de productores y de gestores forestales y de cuerpos de agua mediante redes temáticas resultaría en extremo valiosa.

- c) **Dificultades para acceder a resultados de las investigaciones y escaso uso de las mismas por tomadores de decisiones.** Los datos existentes sobre el lago y la cuenca están dispersos, por lo que crear bancos de datos (virtuales y/o físicos) abonaría a resolver esta carencia. Asimismo debe hacerse un esfuerzo para “traducir” los resultados a un lenguaje asequible para el público no especializado y asegurar la divulgación de los datos de forma amplia, a través de medios de comunicación y redes de divulgación. La Plataforma de Educación Ambiental del Lago Chapala y su Cuenca (www.lagodechapala.org), en proceso de creación, es una alternativa prometedora, que incluye referencias a la información y amplio material gráfico. También se debe promover la investigación y monitoreo de los indicadores ambientales en la cuenca, afinando las herramientas existentes en el sector gubernamental (niveles federal y estatal) universidades y centros privados de investigación. Asegurar que la información se entienda y aplique en la toma de decisiones es esencial, así como fortalecer mecanismos de divulgación y educación ambiental, para crear conciencia pública e involucrar a diferentes sectores sociales en el proceso.
- d) **La falta de aplicación de las leyes existentes**, en cuanto a invasiones al lecho del lago y lo relativo a vertidos industriales, es preocupante. Lo anterior se deriva, en parte, de una fuerte reducción presupuestal (de hasta 75%) a instancias ambientales del gobierno federal, iniciada en 2012 y continuada hasta ahora. Si bien existen normativas específicas para la verificación del tratamiento de las descargas industriales, las mismas se aplican de forma escasa por las condiciones referidas al inicio del párrafo y por el peso económico de las empresas, ya que en varios casos representan una importante fuente de empleos.
- e) **Escasa coordinación entre sectores para el manejo de cuenca.** Sin duda, el Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala, como órgano auxiliar de la CONAGUA ha tenido un papel central en las decisiones con respecto a la distribución del agua y en la reducción de conflictos entre los grupos de usuarios, pero tiene escasa injerencia en temas de manejo de cuenca como el ordenamiento territorial, la vigilancia sobre vertidos industriales,

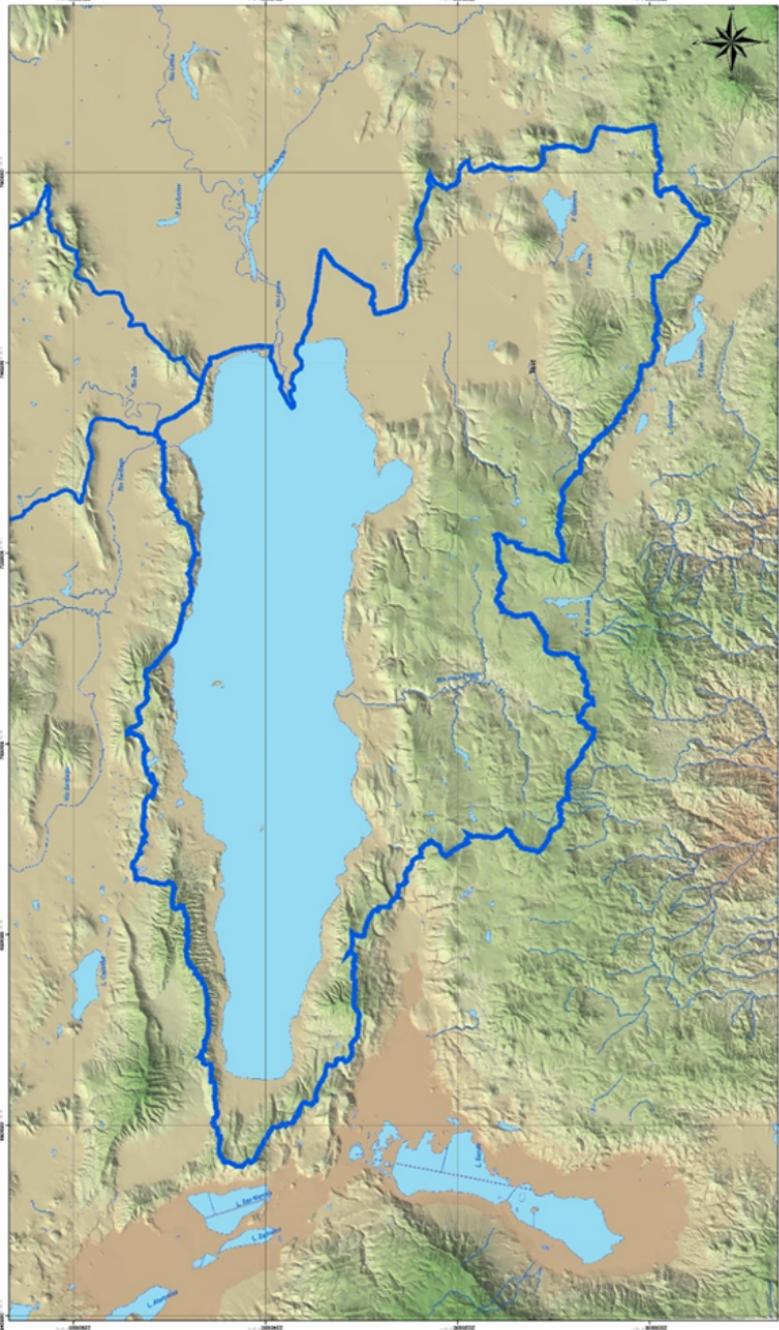
el mejoramiento de las prácticas agrícolas y ganaderas, así como la conservación de zonas de recarga, por mencionar algunos. Para lograr una mejor gestión se requiere crear figuras de colaboración complementarias (siendo una opción una Comisión Intersecretarial, como fue propuesto en la Sesión Especial Lerma-Chapala del 14th World Lake Conference; Juárez -relator-, 2011) que consideren la conservación de áreas forestales, el control de fuentes de contaminación difusa, el control efectivo de la contaminación industrial y la gestión de cuerpos de agua (tanto lóticos como lénticos) con un enfoque ecosistémico. En este sentido, una opción relativamente sencilla de implementar es el fortalecimiento de los Grupos de Trabajo del propio Consejo de Cuenca (algunos emergentes y otros con años de experiencia). También es necesario aumentar la eficacia de las estrategias de trabajo conjunto entre agencias gubernamentales, academia, instituciones de investigación y organizaciones de la sociedad civil, que a pesar de un largo historial de conflictos muestra también casos de éxito valiosos y replicables, tanto a nivel de subcuenca como de la cuenca Lerma-Chapala en su conjunto.

Mapa Hidrológico



Mapa 2. Hidrología del Lago Chapala. Elaboración propia con datos de INEGI CONAGUA 2012.

Subcuenca Chapala y Zula



Subcuenca Chapala y Zula
Escala: 1:500,000

Simbología

- Lago de Chapala
- Subcuencas Chapala y Zula
- Corriente permanente
- Cuerpos de agua

Elaboró: Edgar Isaac Ramírez Lindero
y Liliana López Gómez
Aprobó: Alejandro Juárez Aguilar

Fuentes cartográficas: cartografía vectorial INEGI, cartas 113275, 113276, 113277, 113278, 113285, 113286, 113287, 113288, 113289, 113295, 113296, 113297 y 113298; cartografía de INEGI, cartas 113275, 113276, 113277, 113278, 113285, 113286, 113287, 113288, 113289, 113295, 113296, 113297 y 113298; percepción remota sobre imágenes LANDSAT TM 2011 y banda.

Datum geodésico: ITRF 92. Proyección cartográfica: UTM 13 N. Coordenadas en metros.

Fecha de elaboración: Agosto 2021

Escala: 1:500,000 0 1393.5 2 105 14 175 31 Kilómetros

Mapa 3. Subcuenca Chapala y Zula . Elaboración propia con datos de INEGI Y CONAGUA 2012.

Referencias

Aipromades. (2021). Segundo Informe Aplicación de Recursos para la Elaboración del Plan Integral de Maleza Acuática Chapala SEMADET/DJ/DERN/045/2021. Informe técnico de la Asociación Intermunicipal para la Protección del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Lago de Chapala.

Avalos D., Filonov A., Tereshchenko I., Monzón C. & Velazquez M. F (2015). "Thermal structure and circulation in Lake Chapala, Mexico". Journal of Limnology. Tomado de www.researchgate.net fecha de consulta 13-07-2021.

Avalos D., Filonov A., Tereshchenko I., Monzón C. & Velazquez M. F (2016). "The level variability, thermal structure and currents in Lake Chapala, Mexico". Geofísica Internacional. Tomado de www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-71692016000300175 fecha de consulta 13-07-2021.

Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (Coordinadores). (2000). "Regiones terrestres prioritarias de México" Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México.

Barajas D. (2020). "San Pedro Itzicán, lugar con más enfermos renales en el mundo". Revista Milenio. Tomado de www.milenio.com/politica/comunidad/pedro-itzican-tasa-alta-enfermos-renales-mundialmente fecha de consulta 9-08-2021.

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

Brooks. N.K, P. Folliott, H.M Gregersen y F.L DeBano (1989). Hydrology and the Management of Watersheds. 2 edición Panima Publishing Co. Londres, Inglaterra

CEAS (2006). "Acciones para la Recuperación Ambiental de la Cuenca Lerma Chapala". Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, Gobierno del Estado de Jalisco/Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

CEA (2008). "Lago de Chapala". Sitio web de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco. www.ceajalisco.gob.mx/chapala

Christopher M. Free. (2020). "Ancient lakes of the world". Revisado el 20 de enero de 2020. <https://web.archive.org/web/20200209063201/https://marine.rutgers.edu/~cfree/ancient-lakes-of-the-world/>

CONAGUA (2005). "Registro Público de Derechos de Agua, base de datos digital". Comisión Nacional del Agua". México.

CONAGUA (2010). "Reporte de las Estaciones Meteorológicas Chapala, La Barca, Jocotepec y Tizapán El Alto para el período 1937-2009". Departamento de Hidrología y Climatología, Subgerencia Técnica de la Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico, Comisión Nacional del Agua.

Cotler, H., M. Mazari & J. de Anda (2006). "Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología/Universidad Autónoma de México, Instituto de Ecología. 195 pp.

Dávalos-Lind, L. (1996). "Phytoplankton and bacterioplankton stress by sediment-borne pollutants". *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*. Volume 5, Number 2. P. 99-105.

Dávalos. L. , R. Medina y D. Palfrey. (2007). "Conclusiones del Taller de Expertos *Visión Mundial de Lagos: Construyendo un Plan de Acción para la Cuenca Lerma-Chapala*". Corazón de la Tierra, A.C./International Lake Environment Committee Foundation/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional del Agua. Chapala, México

De Anda, J.; S.E. Quiñones, F. R Guzmán. (1998). "Hydrologic Balance of Lake Chapala, México . *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*.

De Anda & Shear (2001). "Nutrients and Eutrophication in the Lake Chapala Basin". En: A.M. Hansen & M. Van Afferden , eds. *The Lerma-Chapala Watershed, Evaluation and Management*. Kluwin Academia/Plenum Publishers, Nueva York, Estados Unidos.

De Anda J., H. Shear, U. Maniak & P.F. Zárata-del Valle (2004). "Solids Distribution in Lake Chapala, México". *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*

Delgado H. (1992). "A Review of Tectonics of the Western Trans Mexican Volcanic Belt". Report of the Monbusho Grant for the Joint Project Japan–Mexico Cooperative Research Subduction volcanism and tectonics of the western Mexican Volcanic Belt. Edited by: K. Aoky. Japan. Pp. 80-103.

DOF. (1992). "Ley de Aguas Nacionales". Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 11 de mayo de 2022. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lan.htm>

DOF. (2006). "Estudio Lerma-Chapala 2000". Diario Oficial de la Federación. Tomado de dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=4925984 fecha de consulta 9-08-2021.

Díaz A., Quintero M. F., Ramirez E. , Velazquez R., y Juárez A. (2013). "Construcción del Sistema de Información Geográfica de la Subcuenca Chapala". *Contaminación Agrícola y Erosión en la Cuenca del Lago Chapala*. Capítulo 2. Jalisco, México.

Escotto J. (1986). "Lago de Chapala". Serie Estudio e Inversión No. 19. Gobierno de Jalisco, México. 72 pp.

Estrada F., E.T. Flores y J.E.R. Michel. 1983. "Lago de Chapala, Investigación Actualizada". Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. 67 pp.

Filonov A., I.E. Tereshchenko, C.O. Monzón, R. Sánchez y A. Figueroa. (2005). "Estudio del régimen Hidrometeorológico del Lago de Chapala". En: Orozco, M.; M.G. García y V.J. (Compiladores). "Diagnóstico Ambiental del Lago de Chapala". Universidad de Guadalajara, México. ISBN: 970- 27- 0835- 4

Ford, E; R.; I.J. Shine., L. Davalos-Lind & O. Lind (2000). "Trace metal concentrations in *Chirostoma* sp. from Lake Chapala, Mexico: Elevated concentrations of mercury and public health implications" *J. Environ Sci. Health Part A35*.

Gobierno del Estado de Jalisco (2019). Monitoreo de Indicadores del Desarrollo de Jalisco. Tomado de seplan.app.jalisco.gob.mx fecha de consulta 03-05-2021

Guzmán, M., A. Valdez y S. Peniche (2000). "El lago de Chapala, una visión general". En: Chapala en crisis. Análisis de su problemática en el marco de la gestión pública y la sustentabilidad. A. Valdez, M. Guzmán y S. Peniche. Universidad de Guadalajara. México. 177 pp.

GTEPAI (2003). "Resumen de la Planeación Agrícola Integral". Reporte Interno del Grupo de Trabajo Especializado en Planeación Agrícola Integral, Comisión de la Cuenca Propia del lago de Chapala, A.C. Jalisco, México.

Hansen A. y M. Van Afferden (2001). "Toxic Substances, Sources, Accumulation and Dynamics", en A.M. Hansen & M. Van Afferden , eds. *The Lerma-Chapala Watershed, Evaluation and Management*. Kluwin Academia/Plenum Publishers, Nueva York, Estados Unidos.

INEGI (1995). Espacio mapa Guadalajara, hoja F13-12. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI. (1988). "Jalisco en síntesis". Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 57 pp.

Juárez A. (2007). "Sistematización y Fortalecimiento del Programa de Desarrollo Comunitario de la Sierra Cóndiro-Canales". Reporte Final de Proyecto. Instituto Corazón de la Tierra/Instituto Nacional de Desarrollo Social. Guadalajara, México.

Juárez A. (2013). "Construcción de indicadores de gobernanza para el manejo integral de cuencas". En: *Gobernanza del agua en las ciudades. Perspectivas y estrategias en la cuenca del Río Santiago*. Peniche, S.; M.G. Romero, J. González, J. Cortés, F. González, M. Guzmán, E. Macías y G. Zavala. Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas- Universidad de Guadalajara, México, 421 pp. ISBN: 978-607-450-881-9.

Juárez A. y S. Medina (2002). "Proyecto de Cuencas Interiores, Cuenca Propia del Lago de Chapala". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Delegación Jalisco. Documento electrónico.

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

Juárez A., H. Cotler, G. Morales, W. Rast, S. Matsui, A. Hamilton, J. Thorsell, J. Skinner, J. de Anda, R. Vázquez, R. Uribe, M. López. L.E. Ramos, L. Dávalos-Lind, R. Medina y D. Palfrey. (2007). "Conclusiones del Taller de Expertos Visión Mundial de Lagos: Construyendo un Plan de Acción para la Cuenca Lerma-Chapala". Instituto Corazón de la Tierra/International Lake Environment Committee Foundation/Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Comisión Nacional del Agua. Chapala, México

Malié C. (2002). "Resultados del análisis de la calidad del agua del Lago de Chapala". Grupo de Estudio Lerma-Chapala. Proyecto Franco Mexicano de Investigación. Institut du Recherche pour le Development/Universidad de Guadalajara.

Marquez, M.A. (1993). Análisis de los métodos de control de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) Pontederiaceae. Tesis de licenciatura. facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Guadalajara. http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2705/Marquez_Castillo_Maria_Guadalupe.pdf?sequence=1

Masahisa Nakamura y Walter Rast. (2012). "Guidelines for Lake Brief Preparation", Centro de Investigación para la Sostenibilidad y el Medio Ambiente, Universidad de Shiga (RCSE-SU), Japón; y Fundación del Comité Internacional del Medio Ambiente de Lagos (ILEC), Japón. 17p. (Descargable del sitio web ILEC: <http://www.ilec.or.jp>.)

Moncayo E. R. y H.R. Buelna. (2001). "Fish fauna of Lake Chapala". En: A.M. Hansen y M. van Afferden (eds.) The Lerma Chapala Watershed: Evaluation and Management. Kluwin Academia/Plenum Publishers, Nueva York, Estados Unidos. Pp. 215-242.

Moncayo E. R. y C. Escalera. (2005). "Peces del Lago de Chapala". En: La Biodiversidad en Michoacán, Estudio de Estado. Comisión Nacional para la Conservación y Uso de la Biodiversidad/ Gobierno de Michoacán, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Mora N., M. R. y T. Castro. (2005). "Determinación del Fitoplancton del Lago de Chapala en un Ciclo Anual 1996–1997". En: Orozco, M.; M.G. García y V.J. (Compiladores). "Diagnóstico Ambiental del Lago de Chapala". Universidad de Guadalajara, México. ISBN: 970- 27- 0835- 4

Ramos E., Alcocer J., Ortega E. y Camacho A. (2008). "Nitrógeno: elemento limitante para el crecimiento fitoplanctónico en un lago oligotrófico tropical". HIDROBIOLÓGICA. Tomado de www.scielo.org.mx 14 y 15

Rivera M. , Rodrigo M., Escalera C., Juárez A. y Perez N. (2013). “La actividad agrícola y el uso de agroquímicos en la subcuenca Chapala”. Contaminación Agrícola y Erosión en la Cuenca del Lago Chapala. Capítulo 4. Jalisco, México.

Rosas E., J. Ferrari, M. López y J. Urrutia. (1997). “Stratigraphy and Tectonics of the Guadalajara Region and Triple Junction Area, Western Mexico”. International Ecological Review Vol. 39, pp. 125-140

SEMARNAT. (2002). “Programa para la Recuperación y Sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Gobierno de la República. Documento electrónico.

SEMARNAT. (2005). “Programa de Control Integral de Maleza Acuática en el Lago de Chapala”. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Junio 2005. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/jal/estudios/2005/14JA2005H0003.pdf>

SSJ. (2019). “Jalisco será el primer Estado en contar con un Registro de Enfermedad Renal Crónica”. Comunicado de prensa. <https://ssj.jalisco.gob.mx/prensa/noticia/8393>

SUMA. (2006). “Programa de Conservación y Manejo del Parque La Eucalera del Paso de Hidalgo, municipio de Briseñas de Matamoros”. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Ayuntamiento de Briseñas/Corazón de la Tierra, A.C. 117 páginas

SUMA/CONABIO/UMSNH. (2005). La Biodiversidad en Michoacán, estudio de estado. Gobierno de Michoacán, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. <https://archive.org/details/Labiodiversidad00Villa>

SRH. (1973). “Estudio Limnológico del Lago de Chapala, II Etapa, Vol. I”. Secretaría de Recursos Hidráulicos-Universidad Nacional Autónoma de México. México. 190 pp.

Torres R (2021). “Contaminación daña riñones de niños de comunidad de San Pedro Itzicán”. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa. Tomado de www.cua.uam.mx/news/miscelanea/contaminacion-dana-rinones-de-ninos-de-comunidad-de-san-pedro-itzican fecha de consulta 9-08-2021.

Valdez A., Guzman M. y Salvador C. (2000) “Análisis de su problemática en el marco de la gestión pública y la sustentabilidad”. Chapala en Crisis. pág 57, 58, 64 y 65. 10

Velarde, G. (2008). “Lago La Alberca, municipio de Villamar, Michoacán”. Presentación del Primer Taller Latinoamericano de Manejo Integral de Cuencas de Lagos. Internacional Lake Environment Committee Foundation/ Corazón de la Tierra, A.C /Secretaría de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable, Jalisco/Comisión Estatal del Agua de Jalisco/ITESO. Chapala, México.

