

ATLAS

DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA
construyendo una visión conjunta

Helena Cotler Ávalos • Marisa Mazari Hiriart • José de Anda Sánchez
editores

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Instituto Nacional de Ecología
Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Ecología

ATLAS

DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA construyendo una visión conjunta

Helena Cotler Ávalos • Marisa Mazari Hiriart • José de Anda Sánchez
editores

edición y diseño cartográfico

Arturo Garrido Pérez

José Luis Pérez Damián

colaboradores cartográficos

Carlos Enríquez Guadarrama

Noemí Luna González

Alba Esmeralda Zarco Arista



Primera edición: octubre de 2006.

D.R. © Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT)
Periférico Sur 5000, Col. Insurgentes Cuicuilco,
C.P. 04530, México D.F.
www.ine.gob.mx

COORDINACIÓN EDITORIAL: Helena Cotler, Marisa Mazari y José de Anda.
DISEÑO: Álvaro Figueroa.

ASISTENTES DE DISEÑO: Viviana Délano, Adriana Telleri y Victor Santos.

FOTOGRAFÍA: Cerardo Ceballos, Claudio Contreras, Helena Cotler, Luis de la Torre, Edmundo Díaz, Omar Domínguez, Álvaro Figueroa, Alejandra Fregoso, Morayma Hernández, Marisa Mazari, Gustavo Pérez, Raúl Pineda y Viviana Toranzo.

ISBN 968-817-783-0

Impreso y hecho en México / *Printed in Mexico*



ÍNDICE

PRÓLOGO / 4

INTRODUCCIÓN / 7

CONDICIÓN NATURAL DE LA CUENCA / 8

Geología / 11

Geomorfología y suelos / 12

Clima / 15

Ciclo hidrológico / 16

Biodiversidad y uso potencial / 23

Vertebrados terrestres / 24

Ictiofauna / 35

SITUACIÓN SOCIAL DE LA CUENCA / 36

Dinámica de la población / 39

Migración / 43

Urbanización / 46

Desarrollo socioeconómico / 53

Recuadro: Metodología para determinar área de influencia de la cuenca Lerma-Chapala / 55

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS / 58

Dinámica económica / 61

Actividad industrial / 65

Sistemas de producción agropecuaria / 69

Recuadro: Uso de plaguicidas / 70

Actividades piscícolas / 73

Recreación y turismo / 74

Recuadro: Uso de la biodiversidad en las Ciénegas del Lerma / 78

Usos consuntivos de agua superficial y subterránea / 81

Recuadro: Disponibilidad media anual de agua en la cuenca Lerma-Santiago-Pacífico / 82

MARCO INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA / 85

Marco institucional del agua / 86

Evolución histórica de los acuerdos de coordinación en el Consejo de Cuenca Lerma-Chapala / 90

Reglas de asignación del agua / 93

Participación de la sociedad civil / 94

La Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua / 97

Evaluación de la calidad del agua / 101

MARCO INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA / 104

Primer acuerdo de coordinación ambiental para la cuenca Lerma-Chapala / 107

Marco legal para la gestión de los recursos naturales en la cuenca / 108

Relaciones intergubernamentales en la gestión de recursos naturales / 111

Conflictos intergubernamentales por agua / 112

CONDICIÓN SOCIO-AMBIENTAL ACTUAL DE LA CUENCA / 114

Cambio de uso del suelo / 117

Vegetación y uso del suelo / 118

Recuadro: Migración campesina asociada al cambio de cobertura y uso del terreno en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán / 120

Degradación de suelos / 122

Fuentes potenciales de contaminación del agua superficial y subterránea / 124

Estado trófico de la cuenca / 128

Calidad microbiológica del agua / 131

Macroinvertebrados bentónicos como

indicadores de contaminación / 140

Metales pesados en la cuenca del río Lerma / 143

Calidad del agua y eutrofización en el lago de Chapala / 144

Metales pesados en el lago de Chapala / 147

Recuadro: Compuestos orgánicos / 147

Presas y bordos / 148

Calidad del agua en las presas / 151

Eutrofización en las presas / 155

Los distritos y unidades de riego / 158

PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES / 159

Elaboración de un plan para la recuperación ambiental de la cuenca Lerma-Chapala / 160

Recomendaciones técnicas del INE por subcuencas / 163

A MANERA DE CONCLUSIÓN / 189

LISTA DE PARTICIPANTES E INSTITUCIONES / 191

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS / 193

PRÓLOGO

Exequiel Ezcurra

MÉXICO ES UN PAÍS de inmensa complejidad geográfica, de montañas y sierras y valles que se unen y conectan para conformar el heterogéneo mosaico del territorio nacional. Quizás por ello, en México las comarcas regionales tienen una inmensa importancia como blasón de identidad. León Felipe las llamaba “comarcas, patrias chicas, tierras provincianas”; Luis González y González las llamó “las matrias, los municipios, las parroquias, las patriecitas”. La comarca, la “matria”, como él las llamó, es “el pequeño mundo que nos nutre, nos envuelve y nos cuida de los exabruptos patrióticos, el orbe minúsculo que en alguna forma recuerda el seno de la madre cuyo amparo, como es bien sabido, se prolonga después del nacimiento” (“*Suave matria*”; *Nexos* 108:51-59; diciembre 1987). Detrás de la fachadas del sentimiento nacionalista, los mexicanos nos reconocemos realmente en los valores de la región que nos

vio nacer, respondemos en nuestras acciones, tradiciones y comportamientos al sello cultural de la matria que nos dio cobijo al inicio de nuestra vida. Somos un país de comarcas.

Y dentro de estas comarcas regionales, ejes de identidad y de cultura, el Bajío forma una de las áreas más importantes de México. La inmensa cuenca del Bajío separa el altiplano árido al norte, del Eje Neovolcánico Transversal del centro del país. Sus escurrimientos, concentrados en el río Lerma, alimentan el cuerpo de agua más grande de México —el lago de Chapala. Conocida también como la cuenca Lerma-Chapala, esta importante región natural abarca cinco estados de la república (Guanajuato, Michoacán, Jalisco, México y Querétaro) y concentra el 15 % de la población del país.

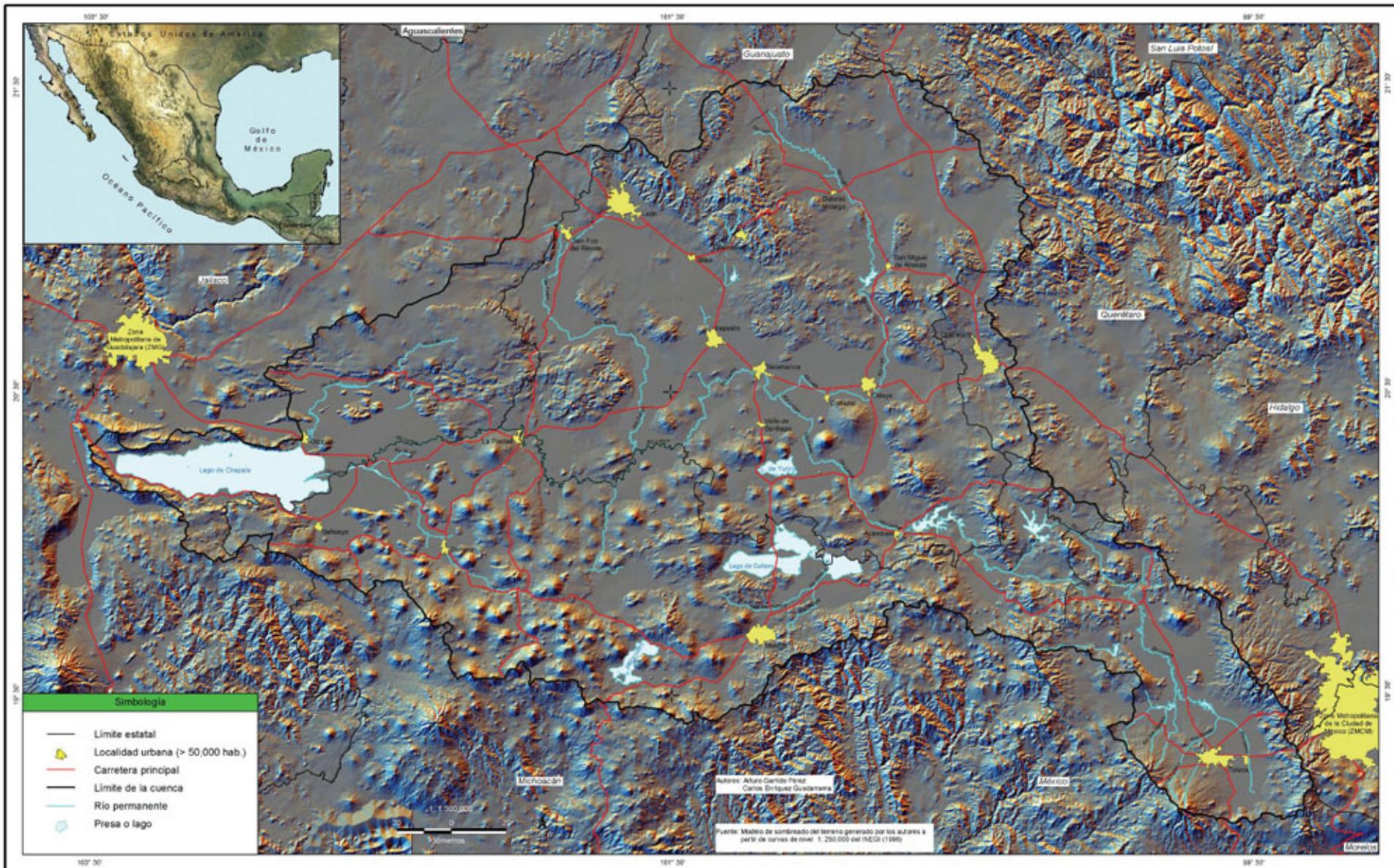
Con una importantísima y rica tradición cultural, la cuenca Lerma-Chapala es hoy también el centro de grandes problemas ambientales que no pueden ser resueltos a partir de un solo enfoque disciplinario. El futuro de la cuenca depende de la capacidad regio-

nal, tanto de ciudadanos como de gobiernos, para ver los problemas en conjunto, a partir de una perspectiva multidisciplinaria y muy fuertemente basada en una comprensión detallada de los fenómenos sociales que están detrás del deterioro ambiental. De eso trata este libro; basado en un sólido conocimiento científico de las condiciones naturales de la cuenca, el *Atlas de la cuenca Lerma-Chapala* trata de entender asimismo en detalle las condiciones sociales y el marco institucional de la región con el objetivo de desarrollar una visión de conjunto para el desarrollo.

El *Atlas* propone una perspectiva de consenso para acercarse socialmente a la solución del deterioro ambiental y a la restauración de los servicios ecológicos de la cuenca. Con una participación plural y abierta, con aportaciones brillantes de investigadores de un gran número de instituciones que trabajan en la región, el *Atlas* será un referente fundamental para entender la compleja trama ambiental y social de esta fascinante y maravillosa región de México.



LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA, MÉXICO



INTRODUCCIÓN

Helena Cotler Ávalos, Marisa Mazari Hiriart y José de Anda Sánchez

LA LARGA Y COMPLEJA HISTORIA de ocupación y apropiación de los recursos naturales de la cuenca Lerma-Chapala suscitó su transformación convirtiéndola en una de las regiones hidrológicas, económicas y sociales más importantes del país. Sin embargo, este crecimiento poco regulado se realizó a expensas del medio ambiente, teniendo como consecuencia el deterioro de los ecosistemas, la pérdida de servicios ambientales y el incremento de la vulnerabilidad en la cuenca.

Desde un punto de vista geográfico, dos factores explican la intensa apropiación de los recursos naturales de esta región. Por un lado, su posición céntrica abarcando una gran extensión del Eje Neovolcánico Transversal, con un clima templado, que constituye una franja divisoria entre las planicies del norte semi-árido y el relieve abrupto, y un clima más húmedo en el sur y, por otro lado, su ubicación administrativa entre dos de las ciudades más importantes del país, México y Guadalajara, que incentivaron el crecimiento económico y demográfico de la cuenca.

El análisis de la problemática en una unidad territorial definida naturalmente —como lo es una cuenca hidrográfica— ofrece diversas ventajas analíticas; por una parte permite la comprensión de la dinámi-

ca del agua y sus interrelaciones con el sistema biofísico y por otra, posibilita tanto considerar como evaluar las externalidades causadas por los diferentes usos y usuarios.

Hoy en día la presión por los recursos naturales de la cuenca, en particular el agua, está distribuida entre los usuarios de cinco estados, cuyas extensiones se distribuyen de manera disímil: Guanajuato (43.75%), Michoacán (30.26%), Jalisco (13.42%), México (9.8%) y Querétaro (2.76%) donde se asienta una población de más de 15 millones de habitantes.

Durante varias décadas, la cuenca Lerma-Chapala ha sido zona de estudio para investigadores —tanto desde la perspectiva de las ciencias exactas y naturales como sociales— cuyos análisis de la situación se han ido presentando parcialmente en diversos artículos y libros. Sin embargo, siendo la cuenca un sistema complejo, la adecuada planeación y gestión de los recursos en ese territorio requiere la comprensión sistémica de las interacciones entre el medio biofísico, los modos de apropiación del territorio (considerando economía, tecnología, organización social) y las instituciones existentes.

Consideramos que la grave problemática socioambiental que padece hoy en día la cuenca Lerma-

Chapala requiere de información precisa, actualizada y analizada de manera integral. Esta información permitiría la elaboración de programas y políticas que posibiliten una adecuada planeación tanto del manejo de los recursos naturales como de las actividades productivas, asegurando el funcionamiento hidro-ecológico de la cuenca. Por ello, nuestra principal inquietud para organizar este Atlas fue la de presentar información científicamente sólida, que abarque aspectos sociales, económicos, políticos y ambientales de la cuenca, en un formato claro y propositivo que pueda servir como fuente de información para quienes tienen en sus manos la toma de decisiones. Igualmente buscamos precisar cuáles son las brechas de conocimiento donde es necesario dedicar esfuerzo científico y tecnológico adicional, con el fin de lograr una mayor comprensión del sistema.

Finalmente, consideramos indispensable que esta información sea actualizada periódicamente por los diferentes grupos de interés, a fin de que las lecciones aprendidas nos permitan revertir el deterioro ambiental de la cuenca.

La conformación del *Atlas de la cuenca Lerma-Chapala* fue posible por el gran interés que expresaron investigadores de diversas instituciones de investigación, dependencias gubernamentales, así

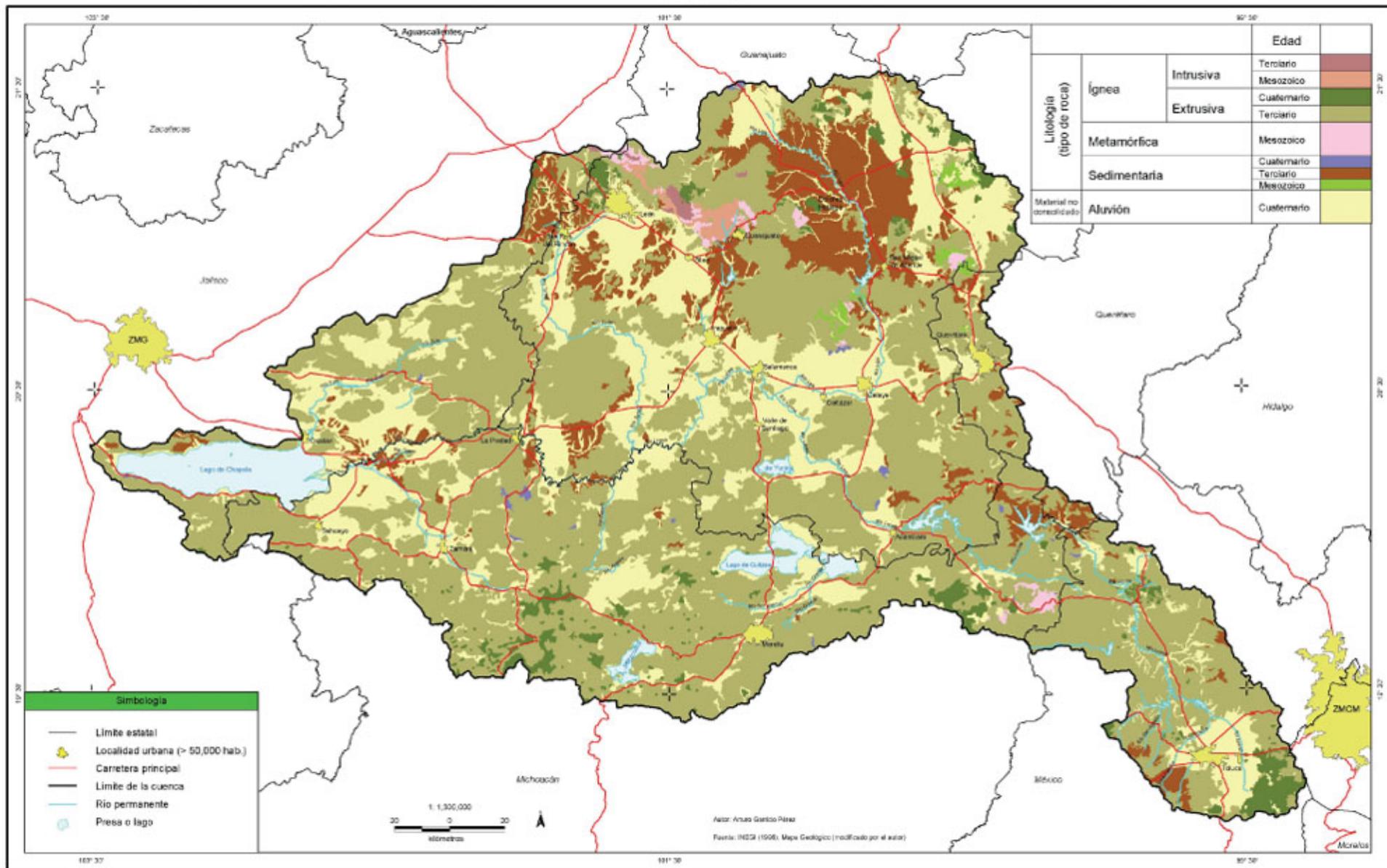
como ONG's, a saber: el Instituto Nacional de Ecología, el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.—CONACYT, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, la Comisión Nacional del Agua, la Sociedad Geológica Mexicana, la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma de Querétaro, así como Unidos para la Conservación A.C. y Planeación, Desarrollo y Recuperación Ambiental (PLADEYRA S.C.). Es importante también mencionar el apoyo de Dr. Manuel Guzmán, de la Universidad de Guadalajara, quien dedicó su valioso tiempo en mostrarnos parte de la historia del río Lerma y del lago de Chapala. Los editores quisiéramos agradecer el apoyo financiero de los Fondos Sectoriales SEMARNAT-CONACYT y en particular el compromiso de la maestra Irene Pisanty, la maestra Laura Mónica Treviño y la licenciada Sonia Alejandra Ortega, coordinadoras de este programa, quienes han sido fundamentales para la realización de los proyectos sobre la cuenca cuyos resultados se presentan en este documento.

CONDICIÓN NATURAL DE LA CUENCA

LA CUENCA LERMA-CHAPALA se localiza en la parte central de México (19°03' a 21°34' N y 99°16' a 103°31' W), donde se extiende desde el nacimiento del río Lerma (a 4600 msnm) hasta su desembocadura en el lago de Chapala (a 1600 msnm), abarcando una extensión de 53,591.3 km², lo que representa el 2.73 % del territorio nacional. Asentada principalmente en un medio de origen volcánico extrusivo, el amplio gradiente altitudinal (3000 m) se refleja en variaciones climáticas que influyen en la presencia de numerosas comunidades vegetales dispuestas en tipos de suelo contrastantes. Como resultado, la biodiversidad de la cuenca es extensa, ofreciendo numerosos servicios ambientales a la población. Después de siglos de ocupación y manejo de los recursos naturales, son evidentes las alteraciones de sus condiciones originales; sin embargo, aún quedan remanentes cuyo estudio es indispensable en la búsqueda de su rehabilitación ambiental.



GEOLOGÍA



GEOLOGÍA

Jesús Uribe Luna

LA GEOLOGÍA EN LA REGIÓN DE LA CUENCA Lerma-Chapala comprende eventos volcanosedimentarios, sedimentarios e ígneos intrusivos y extrusivos que representan un tiempo geológico que va del Jurásico al Reciente, en un registro de más de 140 millones de años. Las rocas más antiguas se encuentran al norte de la cuenca, en la sierra de Guanajuato y corresponden a depósitos sedimentarios y volcanosedimentarios continentales y marinos del Jurásico, cubiertos por rocas sedimentarias continentales y marinas del Cretácico en la porción centro-norte de la cuenca. Las rocas ígneas intrusivas y extrusivas del Paleoceno y las rocas ígneas extrusivas del Neógeno representan eventos volcánicos intensos y muy extendidos dentro de la cuenca. Las rocas con mayor expresión superficial corresponden al Eje Neovolcánico Transversal (ENT), de edad Pleistoceno, en la porción centro-sur de la cuenca. El registro más reciente, en el Holoceno, corresponde a los últimos eventos volcánicos del ENT y los suelos derivados de ellos, en las partes topográficas bajas del Bajío guanajuatense y de los valles del Alto y Medio Lerma. En cuanto a las estructuras geológicas, el mesozoico presenta en el Jurásico una fase de deformación dúctil y para el Cretácico una fase dúctil-frágil representado por rocas foliadas, plegadas y fracturadas. En el Paleógeno se registró una fase de deformación distensiva que contribuyó al desarrollo y emplazamiento de un gran volumen de rocas ígneas extrusivas de la Sierra Madre Occidental (SMO) y fallas normales orientadas principalmente norte-sur. En el Neógeno se registró una fase distensiva norte-sur que dio origen a un gran sistema de fallas normales de orientación este-oeste y otra fase distensiva de orientación noreste-suroeste, que favoreció el des-

arrollo de un sistema de fracturamiento cortical paralelo, regular y sistemático, que favoreció el desarrollo de grandes domos, conos, mesas y otras estructuras volcánicas del Campo Volcánico de Michoacán y Guanajuato que representan al Pleistoceno y Holoceno y son parte del ENT.

ROCAS DEL MESOZOICO

El Jurásico, en la parte media del Mesozoico, está representado por rocas volcanosedimentarias compuestas por toba andesítica, arenisca, caliza, limonita, lutita y filita, en estratos y capas delgadas, cortadas por cuerpos irregulares de piroxenita y gabro. Otras rocas ígneas intrusivas son diques y mantos de diorita, tonalita y basalto. Las rocas jurásicas se encuentran plegadas en forma de anticlinales y sinclinales de orientación noroeste-sureste en la Sierra de Guanajuato y representan un tiempo geológico que va de 163 a 144 millones de años antes del presente. El Cretácico, en la parte superior del Mesozoico, está representado por rocas sedimentarias detríticas y carbonatos, compuestas por arenisca, conglomerado y toba andesítica, en estratos y capas delgadas de origen continental y rocas de caliza, arenisca, lutita, limonita y yeso, de origen marino, que se encuentran en las sierras de Amealco, Gorda y Guanajuato. Las rocas cretácicas se presentan deformadas en pliegues amplios y paralelos, orientados noroeste-sureste, afectadas por fallas normales de orientación norte-sur y representan un intervalo de tiempo de 144 a 66 millones de años antes del presente (CRM, 1997).

ROCAS DEL PALEÓGENO

El registro geológico del Paleoceno, en la base del Paleógeno, está representado por conglomerados de origen continental que se encuentran en la sierra de Guanajuato; el Eoceno, en la parte media del Paleógeno, está representado por estratos gruesos de conglomerado y arenisca, de origen continental, también de la Sierra de Guanajuato; el Oligoceno, en la cima del Paleógeno, está representado por

cuerpos irregulares y antiguos derrames de riolita, rioladita, latita y andesita con rocas cortantes de granito y granodiorita. En su conjunto, el registro geológico del Paleógeno, se encuentra en las sierras de Guanajuato, San Andrés y Pénjamo así como en la región de Chapala y otras zonas de Jalisco (Nieto *et al.*, 1997; Pascaré *et al.*, 1991) presentando una fase distensiva intensa que favoreció el emplazamiento de un gran volumen de riolita y rioladita. Las estructuras representan diferentes eventos tectónicos y volcánicos de la SMO y del EVM sobrepuestos al basamento de una parte de la corteza terrestre denominado "Terreno Guerrero" (Sedlock y Ortega, 1996). El Paleógeno representa un tiempo geológico de 66 a 23 millones de años.

ROCAS DEL NEÓGENO

El Mioceno, en la base del Neógeno, está representado por rocas ígneas extrusivas, de composición de riolita, rioladita, andesita y basalto, con geoformas de mesetas, conos, sierras aisladas y longitudinales. Estas rocas presentan una fase de deformación frágil con estructuras de fallas normales de orientación este-oeste desde Amealco y Huichapan, hasta Chapala, y se encuentran en la porción central de la cuenca, en el Bajío guanajuatense, en la región de Chapala así como en las sierras de San Andrés y Pénjamo. El Plioceno, en la cima del Neógeno, está representado por rocas de andesita, basalto, riolita y dacita principalmente. El Neógeno comprende un tiempo geológico que va de 23 a 1.6 millones de años.

ROCAS DEL PLEISTOCENO

El registro geológico del Pleistoceno, en la base del Cuaternario,

está representado por basalto, andesita y en menor proporción de riolita, en geoformas de conos aislados, conos sobrepuestos, estratovolcanes, lomeríos y sierras longitudinales. Se encuentran en la región centro-sur de la cuenca y presentan una fase de distensión de orientación noreste-suroeste que favorecieron el desarrollo de un gran sistema de fracturas corticales y contribuyeron al emplazamiento de un gran volumen de rocas ígneas extrusivas basálticas como en el Campo Volcánico de Michoacán Guanajuato al sur y suroeste de la cuenca de Lerma-Chapala (CRM, 1995; 1998). El Pleistoceno comprende un tiempo geológico que va de 1.8 a 0.01 millones de años.

ROCAS Y SUELOS DEL HOLOCENO

El Holoceno o Reciente está representado por rocas de basalto y andesita que son los últimos eventos volcánicos del ENT y por los materiales sedimentarios sin consolidar, como grava, arena, limo y arcilla así como los suelos derivados de todas las rocas preexistentes que se encuentran en el centro y en los valles de río Lerma, el Bajío guanajuatense así como en la planicie fluvial y lacustre de Chapala. Representa un tiempo que va de 10,000 años antes del presente y hasta nuestros días.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA						
ERATEMA	SISTEMA	SIRE	M.A.	SINECLOGIA	ROCA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0-01		BAASITO, ANDESITA, BASALTO	
		PLEISTOCENO	1.8		ANDESITA, BASALTO, RIOLITA, TOBA	
	NEÓGENO	PLIOCENO	1		ANDESITA, BASALTO, RIOLITA, DACITA	
		MIOCENO	23		RIOLITA, RIOLADITA, ANDESITA, EUGRITO	
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	30		RIOLITA, RIOLADITA, LATA, ANDESITA, GRANITO, GRANODIORITA	
			EOCENO	57		CONGLOMERADO, ARENISCA
		PALEOCENO	66		CONGLOMERADO	
			66			
	MESOZOICO	CRETÁCICO	CRETÁCICO SUPERIOR	144		ARENISCA, CONGLOMERADO, TOBA, ANDESITA, CALIZA, ANDESITA, LUTITA, GRANITO Y YESO
			JURÁSICO SUPERIOR	163		TOBA, ANDESITA, ANDESITA, ANDESITA, CALIZA, LIMONITA, LUTITA, FILITA, PIROXENITA Y GABRO

GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS

Arturo Garrido Pérez, Helena Cotler Ávalos, Carlos Enríquez Guadarrama

LA INTEGRACIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA y de la edafología permite comprender mejor la interrelación de sus procesos formadores, la distribución espacial, así como también sus potencialidades y limitaciones de uso. Consecuentemente, los principales objetivos de la geopedología son ordenar, organizar y clasificar, empleando un sistema taxonómico, los suelos en su expresión geomorfológica sobre la superficie de la Tierra (Zinck, 1988).



El presente levantamiento, de acuerdo a la escala, concierne al nivel de Sistema Geomorfológico (paisaje) y tiene como principal objetivo presentar un marco espacial que explique la distribución geográfica de los suelos de la cuenca Lerma-Chapala, desde un enfoque integral pues las entidades del mapa comprenden al relieve, la litología y los suelos.

Las diferentes condiciones climáticas y geomorfológicas a lo largo del tiempo han condicionado la formación de numerosas clases de suelos, las cuales presentan diferentes tipos de aptitud, función y vulnerabilidad. Al respecto, la información edáfica consultada proviene de INEGI (FAO-UNESCO, 1988) a escala 1:250,000.

En la sección sureste de la cuenca predominan los suelos de tipo Feozem desarrollados sobre las planicies lacustres y fluvio-aluviales así como sobre los piedemontes formados por depósitos volcánico-clásticos y depósitos aluvio-coluviales. La textura de estos suelos generalmente varía entre media a fina condicionando un drenaje interno moderado. Son suelos que pueden presentar contenidos medios a altos de materia orgánica y una buena aireación.

En la parte más alta de la sección sureste de la cuenca se encuentran distribuidos los Andosoles asociados a laderas montañosas, lomeríos y colinas sobre rocas de tipo andesítico y basáltico principalmente, como el Nevado de Toluca y la Sierra de las

Cruces, por ejemplo. El mantenimiento de la cubierta vegetal original de estos suelos, caracterizados por su porosidad y estructura estable, permiten una buena infiltración del agua.

En las planicies aluviales de la llamada “región del Bajío” se presentan tres tipos de suelos principales. Entre ellos, dominan los Vertisoles formados a partir de depósitos de origen volcánico-clástico y material aluvial; son suelos de textura muy fina a fina que se caracterizan por un drenaje y una aireación pobre. La presencia de facetas fricción-presión (*slickensides*) como resultado del proceso de expansión-contracción de estos suelos, los limita para su uso agrícola.

A lo largo de algunos afluentes del río Lerma se han formado suelos producto de la sedimentación fluvio-aluvial, dando origen a los Fluvisoles, los cuales generalmente son suelos jóvenes, con características muy variables en función de los sedimentos propios de cada afluente y sector de río. La desecación de algunos cuerpos de agua, como los lagos de Yuriria y de Cuitzeo, han dejado al descubierto sedimentos salinos a partir de los cuales se han generado suelos de tipo Solonchaks. El uso de estos suelos es limitado por la abundancia de sales en los horizontes superficiales, por lo cual requieren abundante riego o bien plantas tolerantes a estas condiciones. Estas planicies se encuentran rodeadas por lomeríos y colinas formadas por rocas basálticas y andesíticas así como por piedemontes formados por depósitos de avalanchas volcánicas y tobas; en estas unidades se encuentran suelos de tipo Andosol y Feozem respectivamente y algunos Acrisoles en la parte montañosa de la sección oriental de la cuenca.

En la parte norte de la cuenca predominan los Feozem, en la zona de la planicie formada por areniscas, en los piedemontes formados por riolitas así como también en laderas de montaña. En las zonas de montañas más altas que rodean a las planicies de esta sección norte de la cuenca, se encuentran asociados suelos Acrisoles, Cambisoles y en las montañas volcánicas (de rocas ígneas extrusivas) laderas con Litosoles.

En la parte central de la cuenca predominan también los Vertisoles sobre la extensa planicie aluvial que abarca hasta la zona del lago de Chapala; dicha planicie se encuentra alternada con lomeríos y montañas basálticas y tobas básicas donde principalmente predominan los Feozems.

En la parte sur se encuentra emplazado un campo monogenético muy amplio de lomeríos y colinas sobre rocas basálticas, que ha dado lugar a la formación de Andosoles. Estos mismos suelos se encuentran en las montañas de origen andesítico y de tobas ácidas.

Sobre algunas llanuras y piedemontes de las subcuencas Pátzcuaro, Angulo, Tepuxtepec y Tepeitlán se han formado Planosoles. La característica de un horizonte muy arcilloso en los primeros 10 cm de estos suelos propicia condiciones de satura-

ción estacional que inhibe el desarrollo de raíces, lo que limita el crecimiento de cultivos. Estos suelos se encuentran generalmente cubiertos por matorrales, pastos o bosques.

Los Acrisoles sólo se localizan en esta parte sur de la cuenca, en áreas cercanas al parteaguas al este del lago de Pátzcuaro. Estos suelos que pueden estar asociados con Regosoles y Leptosoles son esencialmente superficiales, muchas veces como resultado de una inestabilidad permanente en el paisaje. Estos suelos también se distribuyen a lo largo de las laderas de montañas, colinas y en piedemontes de esta parte meridional de la cuenca.

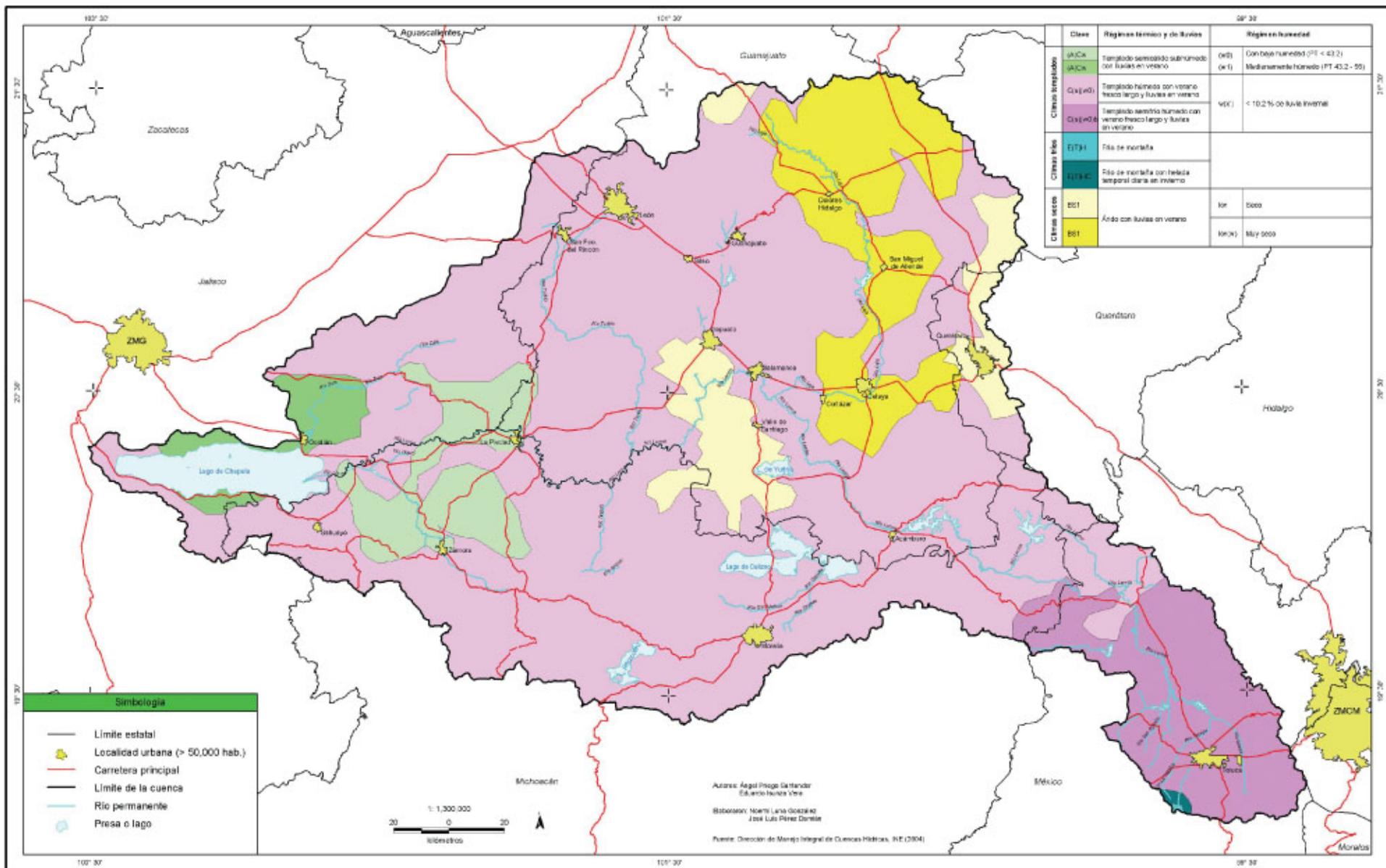
Circundando este campo monogenético se encuentran distribuidos los Luvisoles, los cuales se asocian a zonas de montañas, lomeríos y colinas formados a partir de rocas basálticas y tobas ácidas y básicas, así como en laderas de conos y domos volcánicos, en un clima templado húmedo a húmedo semi-frío. La presencia de un horizonte sub-superficial árgico (concentración de arcilla por iluviación) y una buena estructura, favorece la retención de humedad por más tiempo en el suelo.

Finalmente, en la sección este y noreste los suelos predominantes son los Feozem sobre laderas de montañas, piedemontes, lomeríos y colinas sobre rocas basálticas y depósitos aluvio-coluviales. Los Luvisoles también se encuentran distribuidos a lo largo de lomeríos sobre rocas riolíticas y basálticas, así como también en colinas con limolitas.

Circundantes a la región oeste del lago de Chapala se encuentran montañas, piedemontes y lomeríos formados por rocas basálticas y con suelos de tipo Feozem y Litosoles.

Las características geopedológicas encontradas en la cuenca a esta escala permiten establecer una serie de asociaciones y relaciones generales entre los sistemas geomorfológicos y los suelos; asimismo, permiten conocer más acerca de la génesis de los suelos, su patrón de distribución y el papel que la evolución geológica ha tenido en su desarrollo. El mapa generado es también el punto de partida para estudios más detallados sobre análisis integrado del paisaje, su estructura y funcionamiento (Huizing *et al.*, 1995).

CLIMAS



LA CLIMATOLOGÍA PERMITE DESCRIBIR en forma estadística el comportamiento medio de las principales variables atmosféricas tales como temperatura, precipitación, humedad y presión atmosférica en un determinado lugar. Los climas tienen una fuerte relación con las características del terreno y en especial con el relieve, e influyen la distribución de la vegetación, de la fauna, de los asentamientos humanos así como del desarrollo de actividades económicas. La información básica para el análisis climatológico son los registros diarios obtenidos de las estaciones climatológicas que se encuentran ubicadas a lo largo del territorio nacional.

El objetivo del presente capítulo es mostrar la variabilidad climática de la cuenca y explicar ésta a partir de los registros de lluvia y temperatura extra-

dos de la base de datos climatológica nacional a través del Eric III (Lobato, 2006).

En general, el clima de la cuenca Lerma-Chapala no es uniforme en toda su extensión. Aparicio (2001) describe con detalle los tipos de clima para cada uno de los estados que forman parte de la cuenca y en este caso se mostrará la climatología de las cuatro regiones principales.

La variabilidad climática de la cuenca responde a circulaciones atmosféricas que provienen de diferentes frentes o direcciones y temporadas del año. La región norte de la cuenca comprende predominantemente al estado de Guanajuato y una parte del estado de Querétaro y se encuentra bajo el régimen del grupo de los climas secos, definido como clima árido con lluvias en verano y con régimen de humedad muy seco. En el norte de la cuenca, la precipitación media para el mes de julio es de 128 mm; comparando el registro de las otras tres regiones, ésta es la que menor precipitación recibe.

En contraste la región centro, ubicada en el altiplano, se encuentra caracterizada principalmente por un clima templado del tipo templado húmedo con verano fresco largo y lluvias en verano. El clima de esta zona está determinado por la particularidad de que a ella llegan los sistemas invernales o frentes fríos intensos durante el invierno, los sistemas tropicales del Pacífico durante el verano y poca convección interna, provocando la mayor actividad pluvial en la región. Por esta razón, su preci-

pitación se incrementa principalmente en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, pese a que la distribución de los histogramas de precipitación son similares entre las regiones norte y centro, la diferencia se aprecia en la cantidad de lluvia.

La región sur de la cuenca está representada por dos subregiones, la región suroeste de la cuenca, que fundamentalmente se encuentra ubicada en el estado de México, presenta un clima definido como templado semifrío húmedo con verano fresco largo y lluvias en verano. Cabe mencionar que dentro de esta región se encuentra el Nevado de Toluca, dando origen a un clima frío de montaña producto de la gran elevación del volcán.

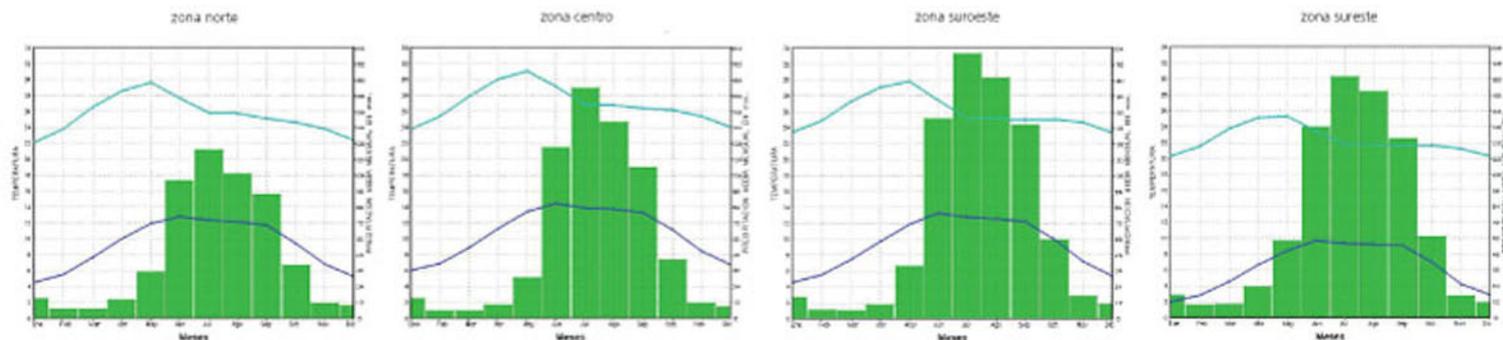
La región suroeste, que rodea el lago de Chapala en el estado de Jalisco, es la zona de emisión de la cuenca y está caracterizada por presentar un clima templado semicálido subhúmedo con lluvias en verano. En la zona se registra un aumento en la disponibilidad de humedad, producto de la constante evaporación del espejo de agua, lo cual crea un ambiente particular en esta región. La diferencia de humedad se puede observar en los histogramas de ambas regiones como las diferencias en los regímenes de precipitación. En este sentido, la zona suroeste presenta en los meses de verano registros de precipitación altos a comparación de los registros que se presentan en el resto de la cuenca. La temporada húmeda se extiende desde junio hasta octubre, reafirmando que no sólo la actividad convectiva propia

de la estación de lluvias produce la precipitación en esta región, sino que también existe una influencia directa de la actividad tropical del Pacífico.

Para explicar la variabilidad climática de la temperatura de la cuenca se puede apreciar, por ejemplo, que la temperatura máxima promedio es diferente entre las regiones y a su vez dependiente de los sistemas que se encuentran expuestos para la época de que se trate. Durante el mes de mayo, la temperatura máxima media se distribuye regionalmente y es dependiente también de la topografía y la región geográfica; se aprecia también que los valores más altos se concentran en el altiplano.

Contar con información climatológica de la región constituye el punto de partida para analizar su variabilidad, así como para entender los patrones de distribución de los ecosistemas que caracterizan la cuenca y el potencial para el desarrollo de ciertas actividades productivas tales como la ganadería o la agricultura. Hoy en día, este tipo de información es cada día más apremiante ya que constituye un insumo fundamental para poder prevenir y mitigar posibles afectaciones de eventos hidrometeorológicos extremos, tales como inundaciones y sequías.

Precipitación media mensual para la cuenca Lerma-Chapala. Temperatura media mensual máxima (línea color verde) y mínima (línea color azul).



CICLO HIDROLÓGICO

PLADEYRA, S.C., Oscar Escolero Fuentes,
Eloísa Domínguez Mariani
y Sandra Martínez Edda

SE DENOMINA CICLO HIDROLÓGICO al movimiento general del agua: ascendente por evaporación y descendente por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea. De esta definición deben remarcar dos aspectos importantes: a) la escorrentía subterránea es mucho más lenta que la superficial y esta lentitud le confiere al ciclo ciertas características fundamentales, como es que los ríos continúan con caudal mucho tiempo después de las últimas precipitaciones, y b) las aguas subterráneas no son más que una de las fases o etapas del ciclo del agua, y el desconocimiento de esta condición puede provocar que se exploten como si no tuvieran relación con las precipitaciones o la escorrentía superficial, con los consecuentes resultados (Figura 1).

AGUA SUPERFICIAL

El ciclo hidrológico constituye una de las condiciones naturales más importantes de las cuencas hidrográficas. El río Lerma, con una longitud de aproximadamente 705 km, es el principal escurrimiento

superficial dentro de la cuenca que lleva su nombre, y por lo tanto constituye uno de los principales elementos de su ciclo hidrológico.

Anteriormente, el nacimiento del río Lerma estaba conformado por más de cincuenta manantiales que alimentaban el lago de Almoleya del Río, el primero de tres lagos que descienden en escalones hacia el norte. Estos lagos, que de sur a norte reciben el nombre de Almoleya del Río, Lerma y San Bartolo, constituían un sistema lacustre unido por canales, con una longitud de 29 km (Maderrey y Jiménez, 2000). Hoy en día, los principales afluentes son los torrentes de la vertiente nororiental del Nevado de Toluca que fluyen hacia el noreste y este del valle, entre los que destacan el río Santiaguito —que vuelca su caudal al lago de Almoleya por la margen izquierda en épocas de abundante lluvia—, y el río Verdiguil que se origina por los manantiales de Las Rosas, El Cuervo, La Piedra China y Los Jazmines y desemboca por la margen izquierda del Lerma después de atravesar la ciudad de Toluca. Aguas abajo del último lago, el río Lerma recibe por la margen derecha el agua del río Otzolotepec que nace en la Sierra de las Cruces.

Las obras de exportación de agua de la cuenca del río Lerma para complementar la dotación a la ciudad de México, significaron la construcción de 234 pozos y un acueducto desde la localidad de Almoleya del Río. Esta obra, inaugurada en 1951, inició la afectación del ciclo hidrológico de la cuenca (Maderrey y Jiménez, 2000). Otro de los componentes del ciclo hidrológico afectado fue el escurrimiento subterráneo, el cual aparece en la superficie en forma de manantiales. Los manantiales que alimentaban el lago Almoleya del Río y daban origen al río Lerma, desaparecieron. El sistema lacustre conformado por los tres lagos se convirtió en un conjunto de ciénagas unidas por un canal, el cual se considera como el origen del colector general del río Lerma. Estos lagos solo vierten agua en forma escalonada en épocas de lluvia abundante.

En la estación Atenco, que mide el volumen del lago Almoleya del Río, el promedio de los caudales medios mensuales para el periodo 1945-1950, antes de la puesta en funcionamiento de las obras de

exportación de agua, variaba entre 1.5 y 2.1 m³/seg, escurriendo durante todos los meses del año. En tanto para el periodo 1951-1980, con las obras funcionando, el promedio disminuyó, reportándose de 0.1 a 0.2 m³/seg; escurriendo sólo al final de la época de lluvia, cuando la laguna se colmata (Maderrey y Jiménez, 2000). De esta manera, el nacimiento del río se fija actualmente en las corrientes que se forman en la vertiente nororiental del Nevado de Toluca, donde destacan el río Santiaguito y río Verdiguil, colectados por el canal mencionado (Maderrey y Jiménez, 2000). Otro efecto al ciclo hidrológico es la pérdida de los escurrimientos superficiales; este es el caso del río Verdiguil que se aprovecha casi en su totalidad para el abastecimiento de la ciudad de Toluca, por lo que su aportación al río Lerma es casi nula y compuesta por aguas residuales (SRH, 1973).

Río abajo, el Lerma recibe afluentes, siendo los más importantes los ríos La Gavia, Jaltepec, La Laja, Silao-Guanajuato, Turbio, Angulo y Duero.

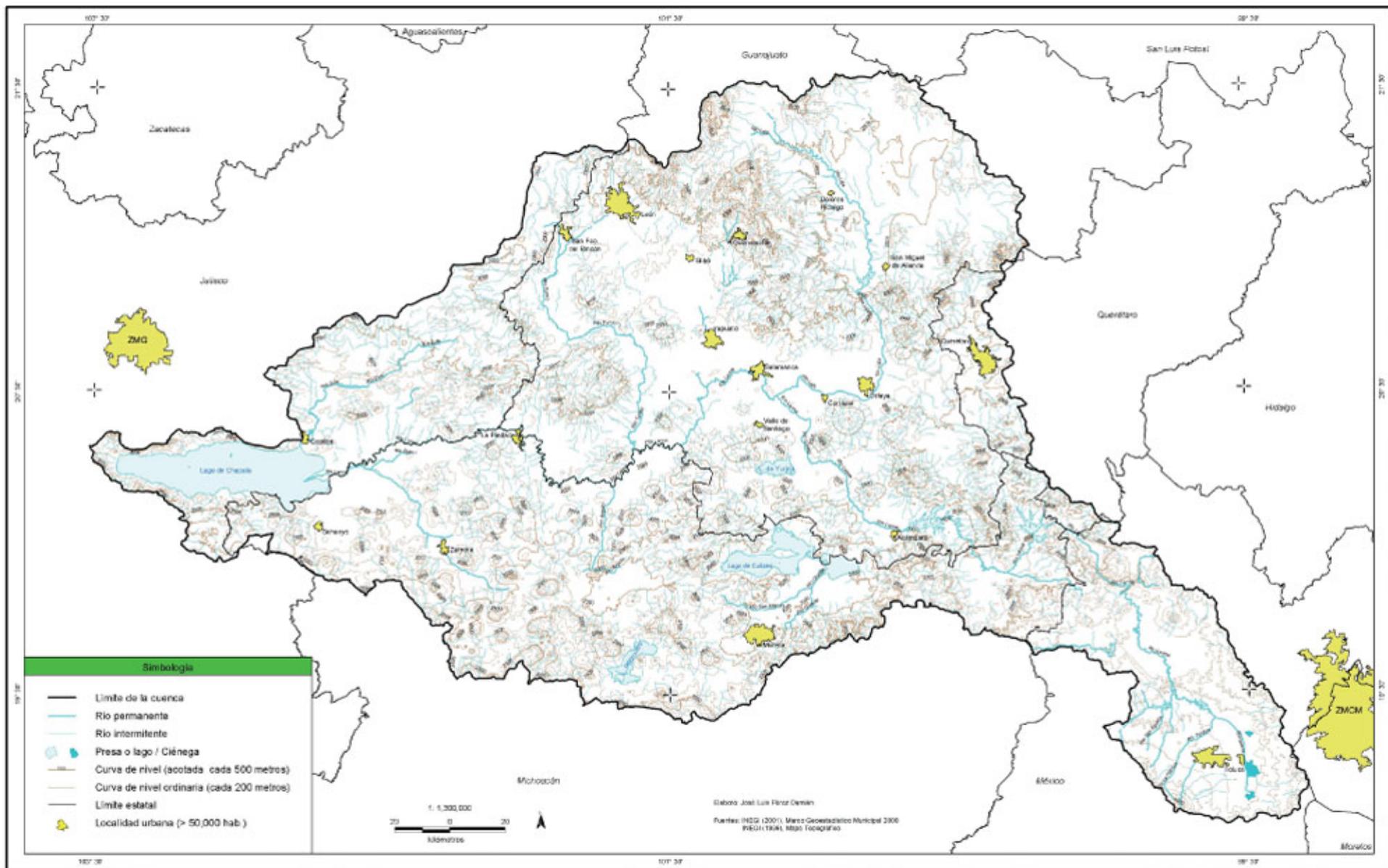
En condiciones promedio, los escurrimientos superficiales son aprovechados casi en su totalidad (para generación de energía, riego agrícola y abastecimiento a zonas urbanas, entre otros), por lo que el flujo de agua en el río Lerma desaparece en algunos tramos.

El río Lerma desemboca en el lago Chapala, que tiene una longitud de 77 km y un ancho de 23 km, aportando un caudal medio anual de 2,150 millones de m³ (Maderrey y Carrillo, 2005). Debido a la desecación de la parte oriental del lago con fines de uso agrícola, el río Duero, que anteriormente desembocaba en el lago, fue desviado hacia el Lerma. Por la intensa utilización de sus aguas, el lago se convirtió en lo que se denomina la ciénaga de Chapala, hasta

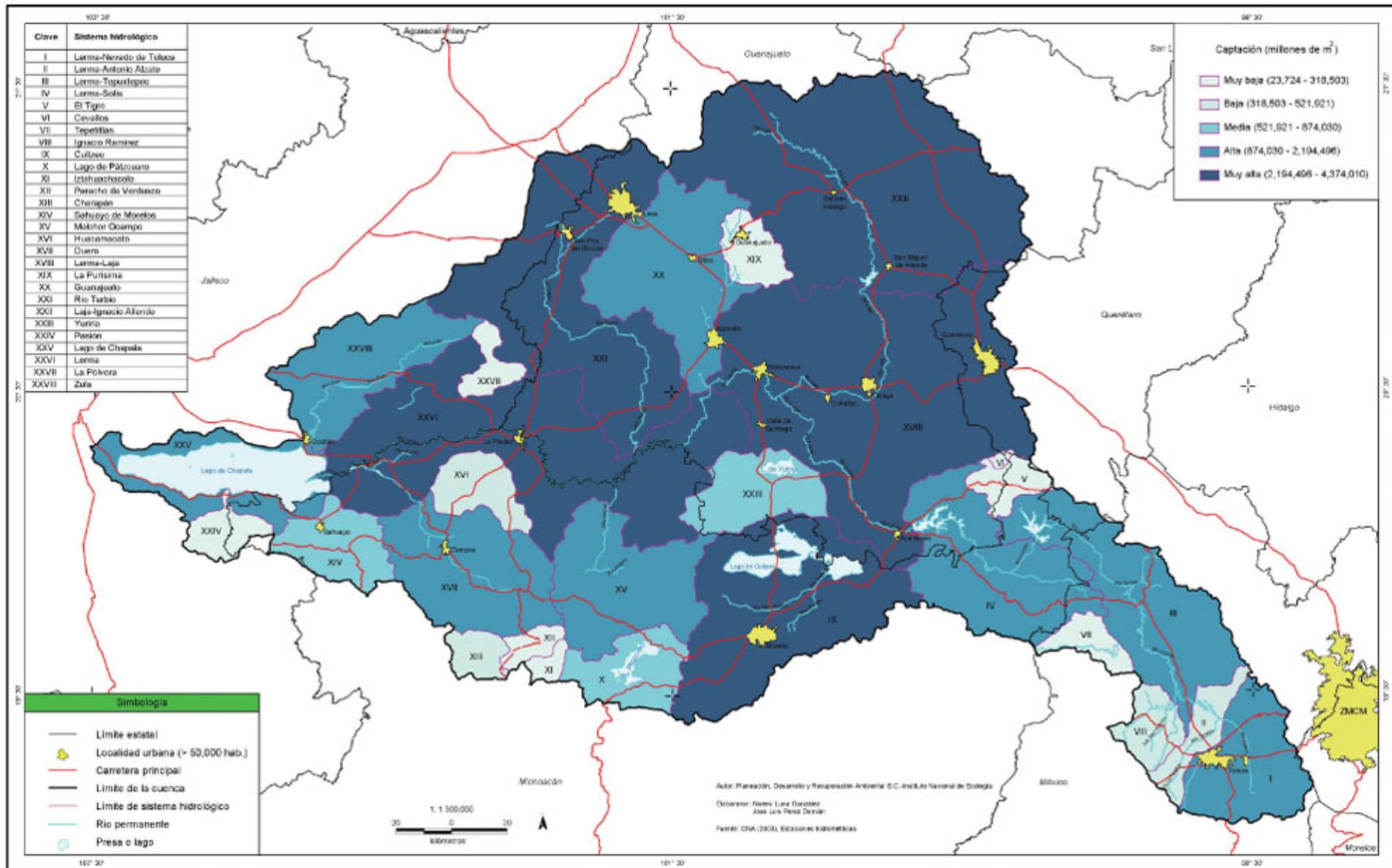
Figura 1



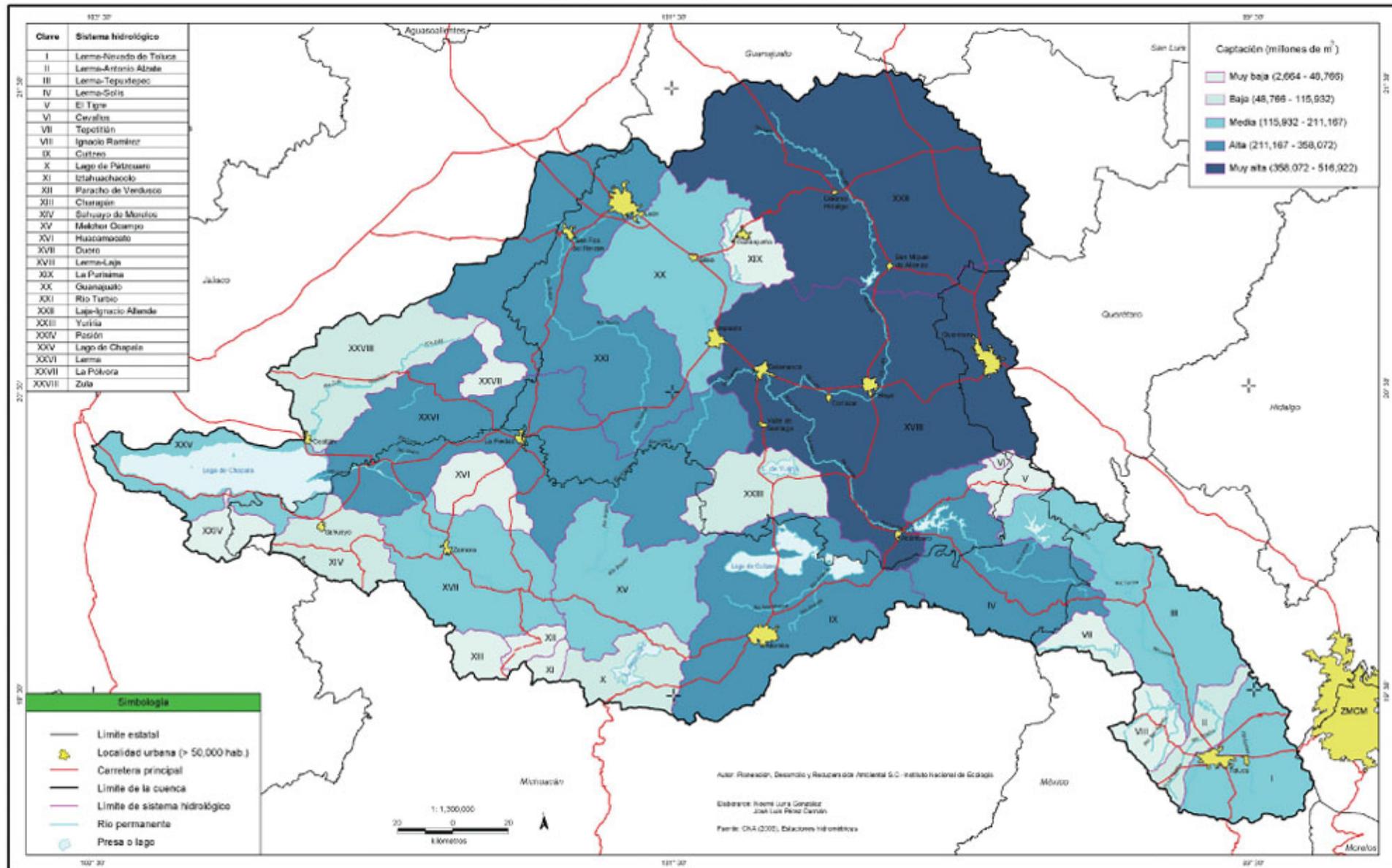
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL



CAPTACIÓN TOTAL EN ÉPOCA DE LLUVIAS



CAPTACIÓN TOTAL EN ÉPOCA DE SECAS



que las intensas lluvias del 2003 permitieron una recuperación del almacenamiento, del 19% que tenía en el 2000, al 37% (Maderrey y Carrillo, 2005). Este lago, el de mayor dimensión en el país y el tercero en América Latina, junto con el río Lerma conforma uno de los principales elementos del ciclo hidrológico de la cuenca.

AGUA SUBTERRÁNEA

Otro elemento importante del ciclo hidrológico de la cuenca es el agua subterránea, que se refiere al agua de lluvia o de escurrimientos superficiales que se infiltra y almacena en las rocas del subsuelo, conformando los acuíferos. Entiéndase por acuífero, las rocas o material no consolidado, lo suficientemente porosas para almacenar agua y con permeabilidad necesaria para permitir que el agua fluya a través de ellas en cantidades económicas y de calidad deseable (Price, 2003). En la cuenca Lerma-Chapala, se reportan 47 acuíferos de los que se extraen 96.7 millones de m³/año de agua subterránea, 79.2 millo-

nes de m³ (82%) se utilizan en la zona urbana y 17.5 millones de m³ (18%) en el medio rural.

El vulcanismo del Eje Neovolcánico Transversal, acompañado de fallas regionales en algunos casos aún activas, ha producido elevaciones y valles aún activos, que se asemeja a sistemas escalonados (Figura 2). Las elevaciones, conformadas predominantemente por rocas volcánicas con una edad que abarca del Mioceno al Reciente, rodean los valles y mesetas donde se acumularon sedimentos interdigitados de materiales volcánicos recientes como cenizas o coladas volcánicas de escaso espesor, con materiales granulares poco consolidados como aluvión, conglomerados y depósitos lacustres.

Las rocas volcánicas como basaltos y andesitas, pueden presentar o no fracturas de menores dimensiones que favorecerán la infiltración de la precipitación o el escurrimiento superficial hacia las profundidades. El agua infiltrada circula por las rocas y sedimentos; cuando encuentra fallas regionales, éstas pueden funcionar como límite al flujo de agua

subterránea o bien del conducto de salida a la superficie formando manantiales, que pueden presentar elevada temperatura. Cuando no encuentra salida, el agua circula por los sedimentos que rellenan los valles y mesetas. Del espesor y permeabilidad del relleno de los valles depende la potencialidad de los acuíferos en explotación.

La existencia de acuíferos de buena productividad en la cuenca favoreció el desarrollo de la población y de sus actividades económicas. La intensa extracción de agua subterránea que se realiza en los valles (Figura 3) produjo la desaparición de manantiales y el descenso del nivel del agua subterránea (nivel piezométrico) de hasta 7 m/año en el Valle de Querétaro, de 2 a 3 m/año en el estado de Guanajuato y de 2 m/año en promedio en el acuífero de Morelia.

Otros efectos de la extracción intensiva de agua subterránea ha sido el hundimiento del terreno y formación de fallas, producto de la pérdida de presión de los sedimentos poco consolidados ante la extracción del agua subterránea, y la inducción de flujos de agua subterránea provenientes de sistemas

regionales que se caracterizan por la elevada temperatura y presencia de iones como flúor, litio, sódico en solución y arsénico, lo cual ha representado problemas en la potabilización para los sistemas municipales de agua potable.

Por otra parte, las actividades industriales y domésticas generan importantes descargas de agua residual, en su mayoría sin tratamiento, las cuales se infiltran en el subsuelo produciendo contaminación. La presencia en la cuenca de grandes distritos de riego y sistemas de conducción mediante canales superficiales permite la infiltración de volúmenes que representan una importante contribución a la recarga de agua subterránea en los valles.

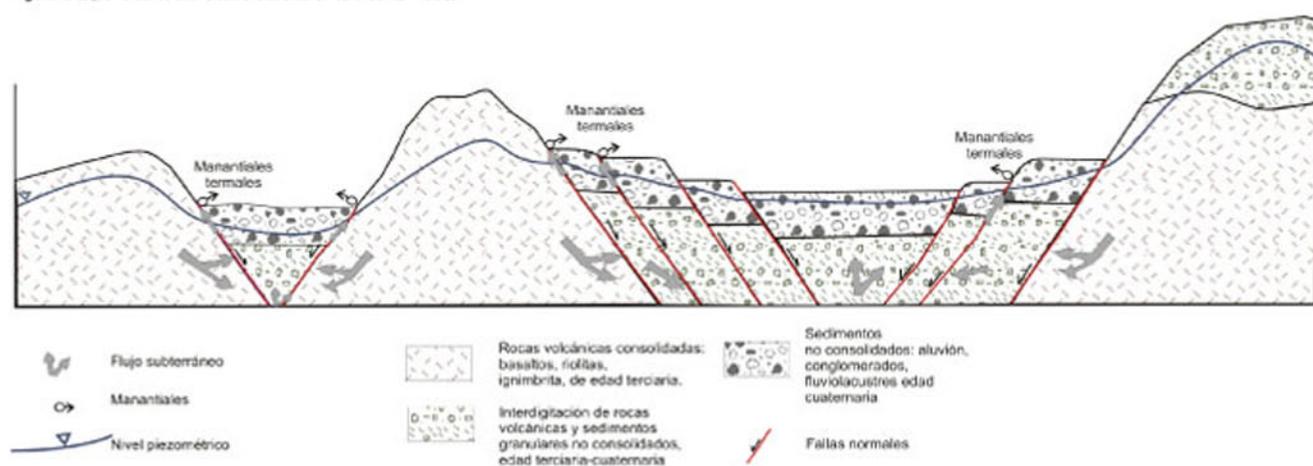
BALANCE HIDROLÓGICO

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación se reparte como parte del proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración. La información del balance hídrico de la cuenca que se presenta en esta sección corresponde a los resultados obtenidos del estudio elaborado por PLADEYRA, S.C. (2003).

En general, se puede afirmar que del agua que cae en un determinado sitio (precipitación = P), una parte vuelve a la atmósfera, ya sea por evapotranspiración directa o por transpiración de la vegetación (evapotranspiración = ETR); otra parte escurre por la superficie (escorrentía superficial = ES) confluendo a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (infiltración = I). Estas magnitudes deben cumplir con la ecuación del balance hidrológico:

$$\text{CAPTACIÓN} - \text{EVAPOTRANSPIRACIÓN} = \text{ESCORRENTÍA SUPERFICIAL} + \text{INFILTRACIÓN}$$

Figura 2 Esquema de los acuíferos de la cuenca en condiciones iniciales.



EL BALANCE HIDROLÓGICO EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA

Tal como se señaló en el capítulo anterior, la precipitación en la cuenca Lerma-Chapala se encuentra ampliamente diferenciada por la época de secas (estiaje) y la época de lluvias. Igualmente, el comportamiento hidrológico en cada una de sus subcuencas varía, aunque no de manera considerable.

Los meses más lluviosos se presentan a partir de mayo, con lluvias máximas en el mes de julio, y disminuyen hasta cubrir seis meses de estación lluviosa en octubre. Los seis meses restantes son los de menor precipitación o estiaje. Se aprecia también una relación directa entre la precipitación y la temperatura, de forma tal que los meses de máxima precipitación son también los de máximas temperaturas (Figura 4).

Dados los extremos climáticos en la cuenca, el balance hidrológico se modeló tanto para el período

de estiaje como para el de lluvias, en donde para definir los meses de cada uno de los períodos fue necesario el apoyo de las estaciones climáticas localizadas en la cuenca, con más de diez años consecutivos de datos para el período 1992 a 2002. Con la finalidad de comprender de manera específica el balance hídrico en la cuenca, ésta se subdividió en 28 sistemas hidrológicos, los cuales constituyen subdivisiones de las subcuencas mediante el uso de dos índices diagnóstico: la mesoexposición y la precipitación.

De forma general se establece que para la época de secas, la evapotranspiración en la cuenca es el mecanismo por el que se pierde la mayor cantidad de agua, alcanzando un 65.6%. Mientras que en la época de lluvias la mayor cantidad de agua se infiltra, alcanzando totales de 56.2%. En un balance anual podemos decir que en la cuenca más del 50% del agua que precipita se infiltra al subsuelo (Figura 5).

La captación total en época de secas muestra, a grandes rasgos, una cuenca dividida en dos, con

una porción central más seca, donde predomina la evapotranspiración. Durante la época de lluvias, la captación total, que va de media a alta, se concentra en el sur de la cuenca, donde también se presentan las mejores condiciones para la infiltración.

La cartografía de los paisajes hidrológicos permite obtener una caracterización adecuada de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas. En la cuenca Lerma-Chapala, el área de captación-transporte, donde concurren los cursos de agua, sus materiales, sedimentos y nutrientes, es la más extensa, abarcando el 59.70% de su área total. La cabecera de la cuenca, área donde inician los cursos de agua cuando las condiciones de suelos y vegetación son favorables, ocupa un 23.84%. Finalmente, la zona de emisión, la que recibe los cursos de agua en su estado más caudaloso y por ende con menos energía, cubre el 16.40% del área total. Cada una de estas zonas funcionales juega un papel particular en el funcionamiento hidro-ecológico de la

cuenca y presenta un grado de fragilidad diferente (Cotler *et al.*, 2004).

El entendimiento del agua en un territorio pasa por el conocimiento espacial del ciclo hidrológico.

La caracterización de cada una de sus fases en un balance constituye un elemento fundamental para la planeación regional del uso sustentable de los recursos y para la protección del medio ambiente.

Figura 3 Esquema de los acuíferos de la cuenca sometidos a extracción y recarga de agua residual.

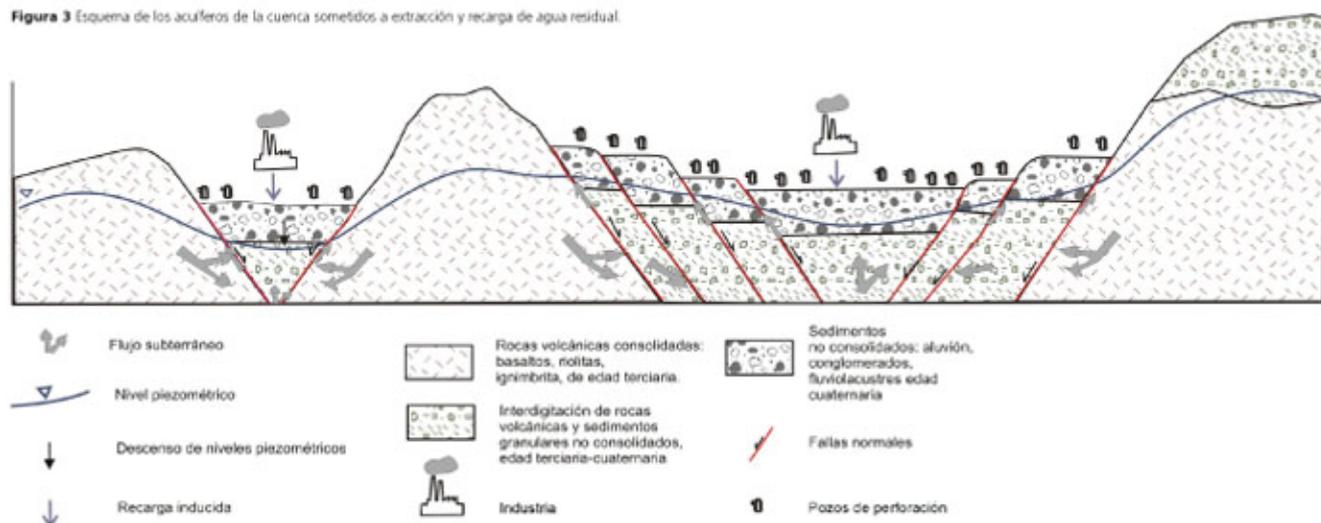


Figura 4 Climograma de la cuenca Lerma-Chapala mostrando los valores promedio mensuales de precipitación y temperatura durante el período 1992-2002 (INAEH, 2003).

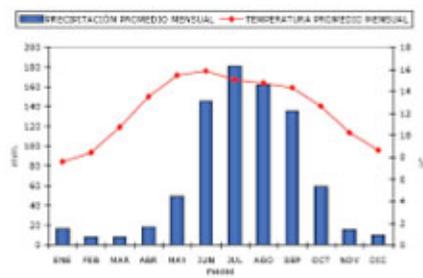
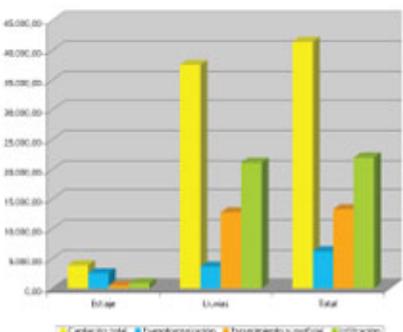
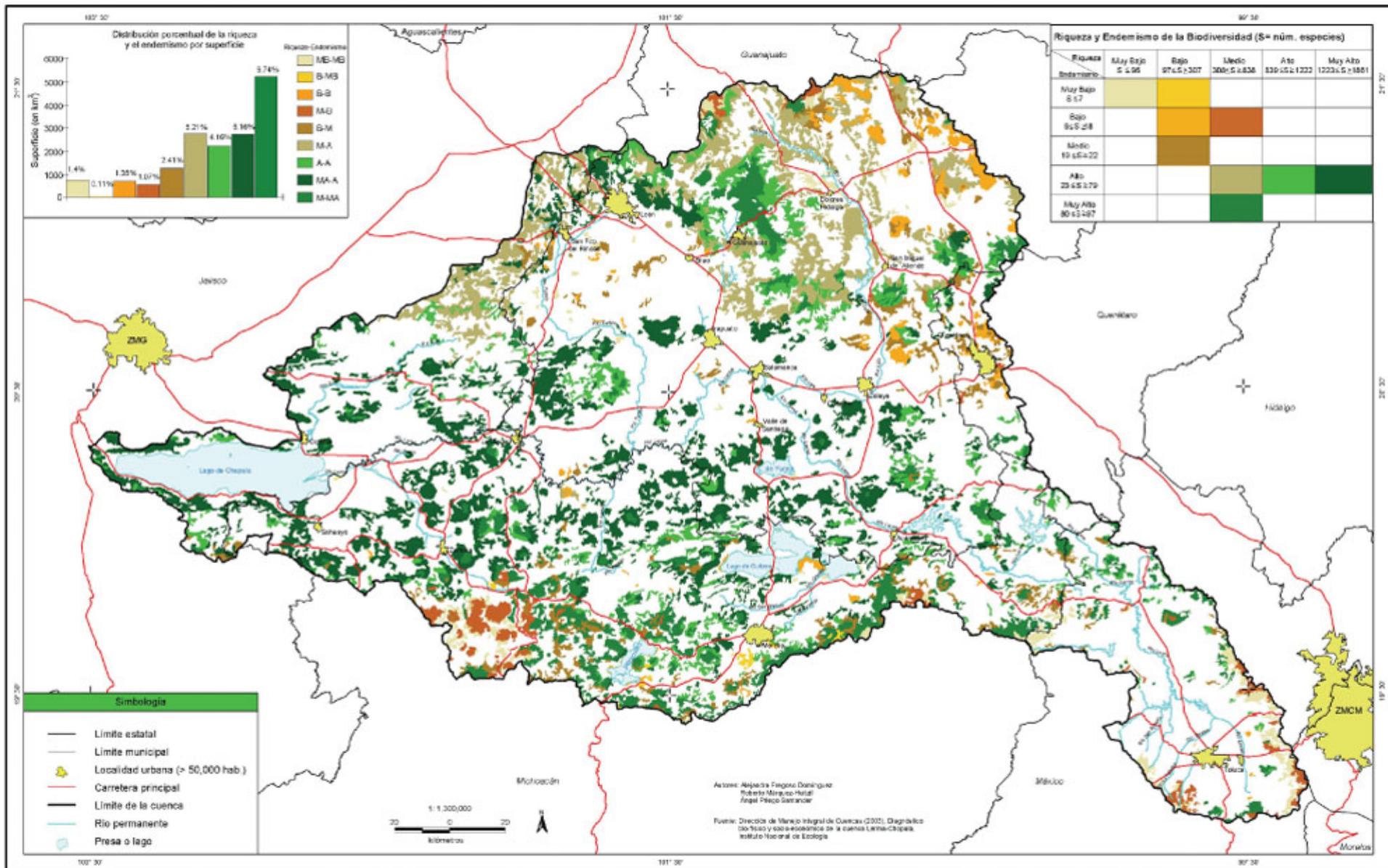


Figura 5 Resumen del balance hidrológico de la cuenca Lerma-Chapala (cifras en Mm³).



RIQUEZA Y ENDEMISMO POTENCIAL DE LA BIODIVERSIDAD



BIODIVERSIDAD Y USO POTENCIAL

Alejandra Fregoso Domínguez

EL TERRITORIO DE LA CUENCA está caracterizado por diferentes ecosistemas, mismos que proveen una amplia gama de bienes y servicios a la población humana. Dentro de los bienes más importantes que provee la zona están los alimenticios, y entre sus servicios más importantes se reconoce el abastecimiento de agua para los estados que la conforman.

BIODIVERSIDAD

Mediante el análisis de la distribución espacial de la vegetación en la cuenca y de los datos georreferenciados sobre la colecta de especies de flora y fauna, proporcionados por la Comisión Nacional para el Uso y Conservación de la Biodiversidad (CONABIO) para la región, se realizó un mapa de riqueza y endemismo potencial de la biodiversidad. La unidad espacial de evaluación, fue la información temática de la carta de Uso de Suelo y Vegetación (Velásquez *et al.*, 2002), cuyos polígonos de vegetación sirvieron como unidades básicas para el despliegue y análisis de la información georreferenciada de la CONABIO. Se decidió emplear únicamente la información referente a la vegetación natural y no incluir los tipos de uso asociados al hombre (como cultivos agrícolas, asentamientos humanos y pastos para

ganadería), por desconocerse la información sobre su composición de biota silvestre. La premisa que sustenta el uso de las unidades de vegetación natural para la cartografía de la biodiversidad es que las especies de plantas son la composición natural de las comunidades vegetales y éstas a su vez, sirven de hábitat potencial a las especies de fauna registradas (DMICH, 2003).

Como resultado de dichos estudios, se observa que la cuenca se caracteriza por una alta heterogeneidad de la cobertura vegetal, en donde se reconocen 10 tipos de vegetación que integran 13 comunidades vegetales y que en conjunto mantienen a 7,073 especies. La mayor riqueza se encuentra en los bosques de latifoliadas así como en los bosques de latifoliadas y coníferas (encino-pino), con 2,794 y 1,911 especies respectivamente. El tipo de vegetación de selva caducifolia y subcaducifolia, que en la región se encuentra representado únicamente por la comunidad de matorral subtropical, es el tercer tipo de vegetación mejor representado, con 1,130 especies. En contraste, para el mezquital se tienen reportadas únicamente 27 especies, lo que refleja la necesidad de mejorar el conocimiento de la biodiversidad de la cuenca.

RIQUEZA Y ENDEMISMO DE LA BIODIVERSIDAD

La alta heterogeneidad de paisajes físico-geográficos de la región se encuentra relacionada con valores altos de riqueza de especies (Morales Iglesias, 2006). En este sentido, la mayor riqueza y endemismo de especies se encuentra en la zona norte y sur, coincidiendo con las áreas montañosas, y con parte de la zona central. A partir del estudio sobre riqueza y endemismo potencial de la biodiversidad realizado por la DMICH (2003) se obtuvo como resultado que los bosques de latifoliadas (encinos) así como los de coníferas y latifoliadas (pino-encino) tienen los mayores registros de especies y de endemismos. A pesar de su baja riqueza, los pastizales naturales y el matorral subtropical albergan un gran número de endemismos. En este sentido, la puesta en marcha de esfuerzos de conservación sobre estos ecosistemas incrementaría la posibilidad de la persistencia

de especies características de la cuenca, y en particular de las endémicas.

USOS DE LA FLORA

Con el fin de contribuir al conocimiento sobre los múltiples beneficios que provee la vegetación de la región, se realizó una investigación documental referente a los usos potenciales de las especies registradas en la base de CONABIO para la zona (DMICH, 2003). Dicho estudio muestra que 988 especies (14%) de plantas presentan alguna utilidad desde el punto de vista económico o cultural.

El análisis sobre usos identifica cinco clases: la industrial, con 13 usos, la comercial, con tres usos, la de conservación y restauración con siete usos, la cultural con seis usos, y la tóxica con dos usos. La clase que cuenta con el mayor número de especies es la cultural, con 791 especies, de las cuales 457 se usan en la medicina tradicional y 256 para la alimentación. La clase industrial incluye 457 especies, de las cuales 222 son maderables para uso doméstico.

Comparativamente con otras regiones del país, la cuenca Lerma-Chapala presenta tanto una alta riqueza de especies como un alto potencial natural de aprovechamiento económico y cultural; mismo que puede aumentar conforme se tenga un mejor conocimiento sobre su biodiversidad así como de los usos actuales. Este tipo de información es de gran importancia para fomentar la diversificación en el manejo de los recursos, reduciendo la presión sobre los ecosistemas de la región.

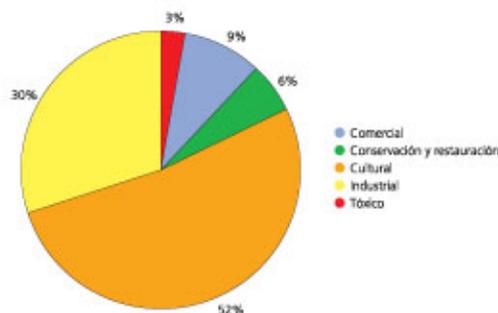
Contar con el conocimiento adecuado sobre las formas de uso y los requerimientos de hábitat es fundamental para un manejo en el largo plazo de los recursos naturales. Promover la difusión de



FOTO: CALISTO CONTRERAS (2002)

este tipo de información y capacitación en la materia adquiere gran relevancia especialmente en zonas rurales, donde sus habitantes generalmente presentan un alto grado de dependencia del entorno natural para satisfacer sus necesidades alimentarias, de salud y de vivienda (Pretty, 2002).

Clases de uso de la diversidad de especies en la cuenca Lerma-Chapala.



VERTEBRADOS TERRESTRES

Gerardo Ceballos, Irma Salazar Cerda, Rurik List Sánchez, Jesús Pacheco Rodríguez y Georgina Santos Barrera

LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA DE MÉXICO es una de sus características más sobresalientes pero también una de las menos conocidas, a pesar de que es un tema de enorme relevancia a nivel mundial. La información generada en las últimas décadas sobre los patrones de distribución de los vertebrados del mundo ha dejado claramente establecido que México es uno de los países más ricos en especies de plantas, animales y microorganismos del planeta.

De hecho, nuestra nación, junto con otros ocho países, entre los que se encuentran Indonesia y Brasil, está dentro de un grupo conocido como países megadiversos, ya que en conjunto mantienen alrededor del 60 o 70% de todas las especies vivientes

(Mittermeier *et al.*, 1997). A pesar de que su territorio (1,972, 547 km²), comprende tan sólo alrededor del 1.6% de la superficie continental del planeta, mantiene alrededor del 11% de todas las especies. México ocupa el primer lugar en reptiles y anfibios, el tercero en mamíferos y el onceavo en aves (Ceballos y Brown, 1995; Groombridge y Jenkins, 2002; Mittermeier *et al.*, 1997; Toledo, 1988).

Además de su gran riqueza de especies, México se distingue por su porcentaje de especies endémicas, es decir, exclusivas del país. Ocupa el tercer lugar en vertebrados endémicos, después de Indonesia y Australia. Otros países con un alto endemismo son Brasil, China, Filipinas, Madagascar y Papúa Nueva Guinea (Ceballos y Brown, 1995; Mittermeier *et al.*, 1997).

La distribución de los vertebrados terrestres no es homogénea en el territorio de mexicano, ya que hay regiones con altas concentraciones de especies en general o de especies endémicas en particular. Este es el caso de la cuenca Lerma-Chapala, región que sobresale por su alta riqueza de especies y alta concentración de especies endémicas, especialmente de peces (Díaz Pardo y Pineda López, en este volumen).

Los vertebrados se distribuyen a lo largo de toda la cuenca (ver Mapa). La presencia de esta variada fauna es resultado de su gran diversidad de ambientes, entre otros factores, ya que en la cuenca existen

bosques de coníferas, bosques de encino, matorrales áridos y selvas bajas. La región se caracteriza también por sus lagos, como el de Chapala y Cuitzeo, que son los más grandes del país, extensas ciénegas como las del alto Lerma en el valle de Toluca, y vegetación riparia a lo largo del río Lerma.

La fauna de vertebrados de esta cuenca comprende alrededor de 664 especies de mamíferos, aves, reptiles y anfibios (Apéndice 1, al final del este capítulo). Las de aves y mamíferos son los grupos (clases) mejor representadas, seguidas de reptiles, anfibios y peces (Figuras 1 y 2).

Los mamíferos incluyen 138 especies, de 76 géneros, 23 familias y ocho órdenes. Su riqueza de especies equivale al 30% de los mamíferos terrestres del país, de estas especies, 16 son endémicas de México. Algunas, como la zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*) y el zorrillo listado (*Mephitis macroura*) son todavía abundantes en los remanentes de vegetación natural y en áreas perturbadas (Figuras 3 a 5).

Las aves incluyen alrededor de 374 especies, clasificadas en 218 géneros, 51 familias y 18 órdenes; de estas especies, 20 son endémicas. Un porcentaje elevado (23%) son aves acuáticas migratorias, que encuentran refugio en los humedales y lagos como las ciénegas del Lerma y el lago de Chapala. A pesar del deterioro ambiental de la cuenca, varias de las



Cardenal (*Cardinalis cardinalis*).



Mapache (*Procyon lotor*).

Coyote (*Canis latrans*).



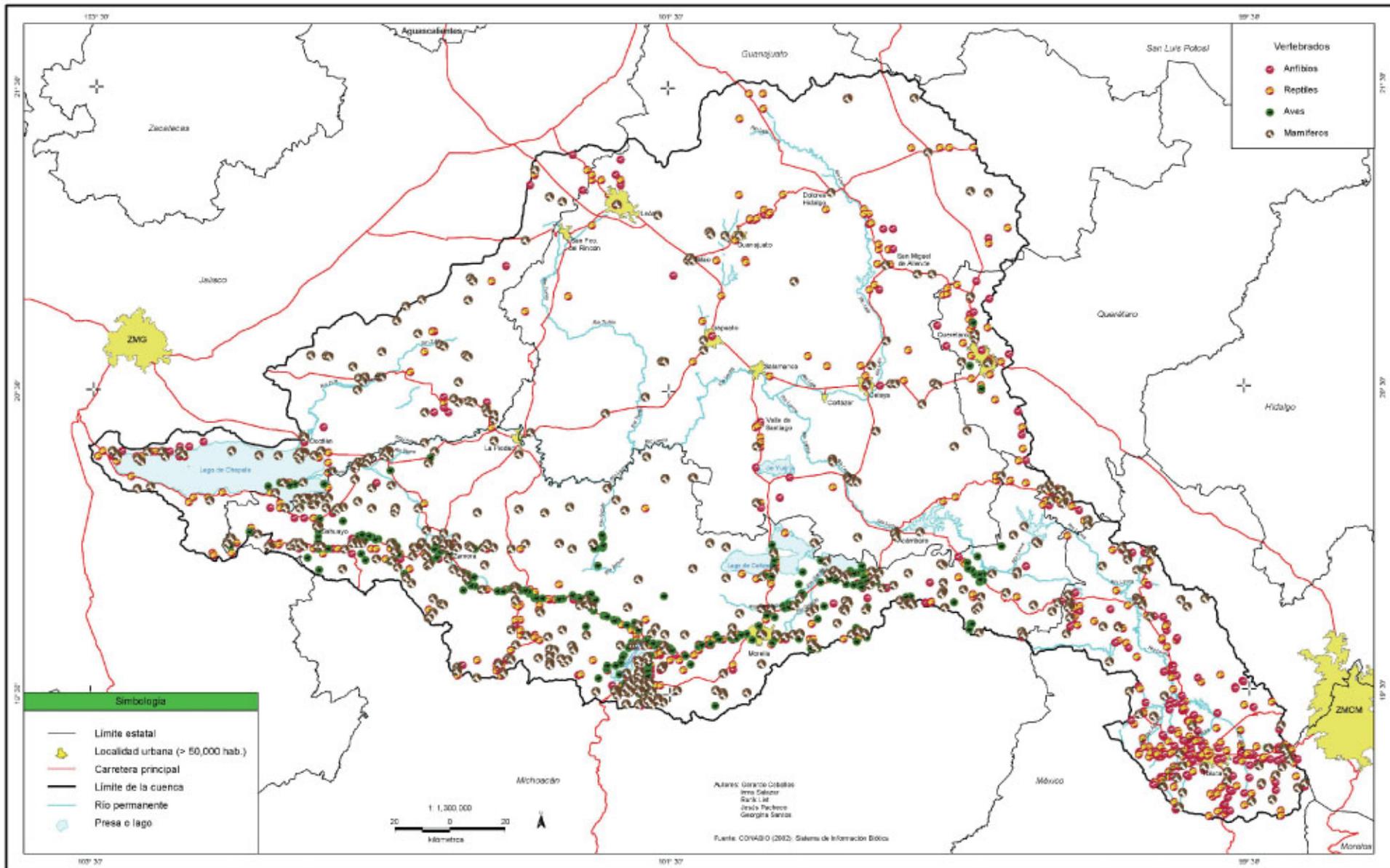
Escorpión (*Basia imbricata*).



Zorra gris (*Urocyon cinereoargenteus*).



DISTRIBUCIÓN DE REGISTROS DE VERTEBRADOS





Pichichi (*Dendrocygna autumnalis*).



Camaleón (*Phrynosoma orbiculare*).

especies todavía son relativamente abundantes (Figuras 3 a 5).

Los reptiles del área de estudio están representados por 82 especies, clasificadas en 36 géneros, 15 familias y dos órdenes (Figuras 3 a 5); alrededor del 73% de estas especies son endémicas de México. Los anfibios son más abundantes en ambientes húmedos y en los cuerpos de agua. En la cuenca encontramos un total de 70 especies, que representan a 18 géneros, 9 familias y dos órdenes [Figuras 3 a 5]; de estas especies, 28 son endémicas.

Monjita (*Himantopus mexicanus*).



Algunas, como los ajolotes (*Ambystoma lermaense* o *A. leorae*), tienen distribuciones muy restringidas.

La enorme degradación ambiental de la cuenca, —donde enormes extensiones de vegetación natural han sido transformadas en campos de cultivos, pastizales y zonas urbanas, y los extensos lagos y humedales como las Ciénegas del Lerma y el lago de Chapala han sido drenados, contaminados y degradados— ha impactado severamente a la fauna y flora. Un porcentaje desconocido de especies como la nutria (*Lontra longicaudis*) y el zanate del Lerma

(*Quiscalus palustris*) (ver página 31) se han extinguido local o totalmente. Por lo menos 125 especies adicionales se encuentran catalogadas como en riesgo de extinción (ver Apéndice). Muchas de ellas, sobre todo peces como *Algansea barbata* o ajolotes como *Ambystoma lermiae* están en severísimo riesgo de desaparecer en la próxima década si no logra pararse el deterioro ambiental de los cuerpos de agua. Su sobrevivencia depende completamente de las acciones de conservación que se lleven a cabo en los siguientes años.

Figura 3 Riqueza de especies.

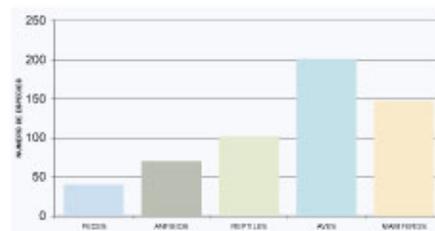


Figura 4 Número de especies en riesgo.

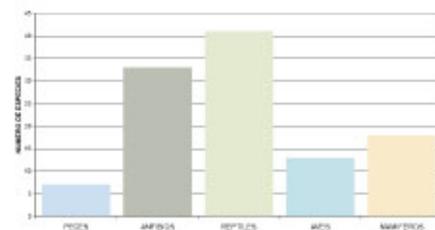


Figura 5 Número de especies endémicas.

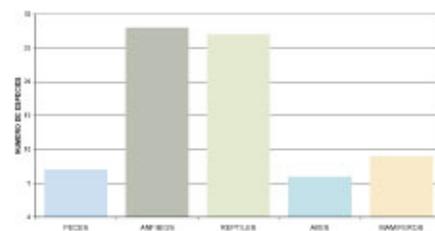


Figura 1 Grandes familias.

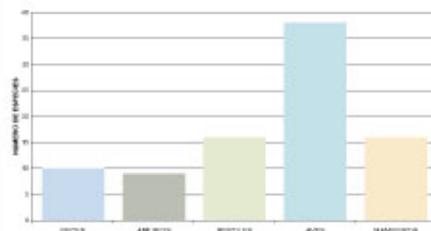
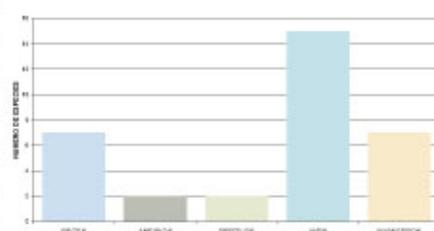


Figura 2 Órdenes.



APÉNDICE

A: amenazada de extinción / E: extinta / END: endémica de México / P: en peligro de extinción / PR: bajo protección especial

CLASE AMPHIBIA	RIESGO	ENDEMIISMO		RIESGO	ENDEMIISMO
ORDEN ANURA			Familia Ranidae		
Familia Bufonidae			<i>Rana berlandieri</i>	PR	END
<i>Bufo compactilis</i>		END	<i>Rana dunoi</i>	PR	END
<i>Bufo marinus</i>			<i>Rana forsteri</i>	PR	END
<i>Bufo macrinus</i>		END	<i>Rana montezumae</i>	PR	END
<i>Bufo occidentalis</i>		END	<i>Rana neovolcanica</i>	A	END
<i>Bufo punctatus</i>			<i>Rana pustulosa</i>	PR	END
			<i>Rana spectabilis</i>		END
Familia Hylidae			<i>Rana trilobata</i>	PR	END
<i>Hyla arenicolor</i>			<i>Rana zuefeli</i>		
<i>Hyla bistincta</i>	PR	END			
<i>Hyla eximia</i>			Familia Rhinophrynidae		
<i>Hyla micropyanum</i>		END	<i>Rhinophrynus dorsalis</i>	PR	
<i>Hyla plicata</i>	A	END			
<i>Hyla smaragdina</i>	PR	END	ORDEN CAUDATA		
<i>Hyla smithii</i>		END	Familia Ambystomatidae		
<i>Hyla tarraipus</i>	A	END	<i>Ambystoma altamirani</i>	A	END
<i>Pachymedusa dacnicolor</i>		END	<i>Ambystoma amolycephalum</i>	PR	END
<i>Pterohyla fimbria</i>			<i>Ambystoma bombypellum</i>	PR	END
<i>Sciaenax stufferi</i>			<i>Ambystoma dumerili</i>	PR	END
<i>Smilisca baudini</i>			<i>Ambystoma grandisomum</i>	PR	END
			<i>Ambystoma leone</i>	A	END
Familia Leptodactylidae			<i>Ambystoma lermaense</i>	PR	END
<i>Eleutherodactylus angustidigitorum</i>	PR	END	<i>Ambystoma macrinianum</i>	PR	END
<i>Eleutherodactylus angarti</i>			<i>Ambystoma orbicularium</i>	PR	END
<i>Eleutherodactylus kobartzi</i>		END	<i>Ambystoma rivularis</i>	A	END
<i>Eleutherodactylus nitidus</i>		END	<i>Ambystoma vraschi</i>	PR	END
<i>Eleutherodactylus occidentalis</i>		END			
<i>Eleutherodactylus pipilans</i>			Familia Plethodontidae		
<i>Eleutherodactylus pygmaeus</i>			<i>Pseudoeurycea altamontana</i>	PR	END
<i>Eleutherodactylus verrucipes</i>		END	<i>Pseudoeurycea belli</i>	A	END
<i>Leptodactylus melanomelas</i>			<i>Pseudoeurycea cephalica</i>	A	END
			<i>Pseudoeurycea leprosa</i>	A	END
Familia Microhylidae			<i>Pseudoeurycea longicauda</i>	PR	END
<i>Hypopachus variolosus</i>			<i>Pseudoeurycea robertsi</i>	A	END
Familia Pelobatidae					
<i>Spa multiplicatus</i>					

CLASE REPTILIA	RIESGO	ENDEMIISMO		RIESGO	ENDEMIISMO
ORDEN SQUAMATA			<i>Thamnophis melanogaster</i>	A	END
Familia Anguillidae			<i>Thamnophis scalaris</i>	A	END
<i>Barisia imbricata</i>	PR	END	<i>Trimorphodon bisacatus</i>		
<i>Barisia levicollis</i>	PR	END	<i>Trimorphodon tau</i>		END
<i>Barisia rubicollis</i>	PR	END			
<i>Gerrhonotus livephalus</i>	PR	END	Familia Elapidae		
			<i>Micruarus fulvius</i>	PR	
Familia Boidae					
<i>Boa constrictor</i>	A		Familia Gekkonidae		
			<i>Phyllodactylus lasi</i>		END
Familia Colubridae					
<i>Conopsis biserialis</i>	A	END	Familia Iguanidae		
<i>Conopsis lineatus</i>		END	<i>Ctenosaura pectinata</i>	A	END
<i>Conopsis nasus</i>		END			
<i>Diadophis punctatus</i>			Familia Leptotyphlopidae		
<i>Drymechobon corais</i>			<i>Leptotyphlops humilis</i>		
<i>Drymechobius margaritiferus</i>					
<i>Geophis dugesi</i>		END	Familia Phrynosomatidae		
<i>Geophis petersi</i>	PR	END	<i>Holbrookia maculata</i>		
<i>Hypsiglena torquata</i>	PR	END	<i>Phrynosoma orbiculare</i>	A	END
<i>Lampropeltis mexicana</i>	A	END	<i>Sceloporus aculeus</i>		END
<i>Lampropeltis rathveni</i>	A	END	<i>Sceloporus anahuacensis</i>		END
<i>Lampropeltis triangulum</i>	A		<i>Sceloporus bicanthalis</i>		END
<i>Leptodeira maculata</i>	PR	END	<i>Sceloporus dugesii</i>		END
<i>Leptodeira splendida</i>		END	<i>Sceloporus gramineus</i>	PR	
<i>Masticophis lateralis</i>			<i>Sceloporus horridus</i>		END
<i>Masticophis flagellum</i>	A		<i>Sceloporus palaciosi</i>		END
<i>Masticophis mentovarius</i>	A		<i>Sceloporus parvus</i>		
<i>Masticophis taeniatus</i>			<i>Sceloporus scalaris</i>		
<i>Oxybelis aculeus</i>			<i>Sceloporus serrifer</i>	PR	END
<i>Pituophis deepsi</i>	A	END	<i>Sceloporus spinosus</i>		END
<i>Rhadinea hesperia</i>	PR	END	<i>Sceloporus torquatus</i>		END
<i>Rhadinea laureata</i>		END	<i>Urosaurus bicarinatus</i>		
<i>Salvadora bairdi</i>	PR	END			
<i>Salvadora grahamiae</i>			Familia Polychrotidae		
<i>Salvadora mexicana</i>	PR	END	<i>Anolis nebulosus</i>		END
<i>Senticolis triaspis</i>			<i>Anolis nebulosus</i>		END
<i>Storeria storerioides</i>		END			
<i>Tantilla bocourti</i>		END	Familia Scincidae		
<i>Tantilla calamarina</i>	PR	END	<i>Eumeces breviventris</i>		END
<i>Tantilla rubra</i>			<i>Eumeces copei</i>	PR	END
<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	A	END	<i>Eumeces dugesi</i>	PR	END
<i>Thamnophis eques</i>	A				

	RIESGO	ENDEMISMO		RIESGO	ENDEMISMO		RIESGO	ENDEMISMO		RIESGO	ENDEMISMO
ORDEN CORACIIFORMES			ORDEN GALLIFORMES			Familia Cinclidae			<i>Euphonia elegantissima</i>		
Familia Alcedinidae			Familia Phasianidae			<i>Coccyz mexicanus</i>			<i>Geothlypis nelsoni</i>		END
<i>Ceryle alcyon</i>			<i>Dendrocygna macroura</i>		END				<i>Geothlypis poliocephala</i>	P	END
<i>Ceryle torquata</i>			<i>Cyrtonyx montezumae</i>			Familia Corvidae			<i>Geothlypis speriosa</i>		
<i>Chloroceryle americana</i>			<i>Callipepla squamata</i>			<i>Aphelocoma coerulescens</i>			<i>Geothlypis trichas</i>		
			<i>Colinus virginianus</i>			<i>Aphelocoma ultramarina</i>			<i>Quiraca caerulea</i>		
Familia Momotidae						<i>Calcicola formosa</i>			<i>Icterus virens</i>		
<i>Momotus mexicanus</i>			Familia Rallidae			<i>Corvus corax</i>			<i>Icterus bullockii</i>		
			<i>Falco americana</i>			<i>Corvus cryptoleucus</i>			<i>Icterus cucullatus</i>		
ORDEN CUCULIFORMES			<i>Porzana carolina</i>			<i>Cyanocitta stelleri</i>			<i>Icterus galbula</i>		
Familia Cuculidae			<i>Rallus elegans</i>	PR	END				<i>Icterus parisorum</i>		
<i>Coccyzus erythrophthalmus</i>			<i>Rallus longirostris</i>	PR	END	Familia Dendrocolaptidae			<i>Icterus pustulatus</i>		
<i>Coccyzus americanus</i>						<i>Lepidocolaptes leucogaster</i>			<i>Icterus spurius</i>		
<i>Crotaphaga sulcirostris</i>			ORDEN GAVIIFORMES						<i>Icterus wagleri</i>		
<i>Geococcyx velox</i>			Familia Gaviidae			Familia Emberizidae			<i>Junco phainotus</i>		
<i>Geococcyx californianus</i>			<i>Podilymbus podiceps</i>			<i>Agelaius phoeniceus</i>			<i>Melospiza georgiana</i>		
			<i>Podiceps nigricollis</i>			<i>Aimophila berterii</i>			<i>Melospiza lincolni</i>		
ORDEN FALCONIFORMES			<i>Archimophorus clarkii</i>			<i>Aimophila mystacalis</i>		END	<i>Melospiza melodia</i>		
Familia Accipitridae						<i>Aimophila rufescens</i>			<i>Melospiza cinerea</i>		END
<i>Pandion haliaetus</i>			ORDEN GRUIFORMES			<i>Aimophila ruficauda</i>			<i>Mniotilta varia</i>		
<i>Elaeus leucurus</i>			Familia Rallidae			<i>Aimophila ruficeps</i>			<i>Molothrus aeneus</i>		
<i>Circus cyaneus</i>			<i>Coturnicops noveboracensis</i>	P	END	<i>Ammodramas sandwichensis</i>			<i>Molothrus ater</i>		
<i>Accipiter striatus</i>			<i>Rallus elegans</i>			<i>Ammodramas savanarum</i>			<i>Myioborus miniatus</i>		
<i>Accipiter cooperii</i>			<i>Rallus livicola</i>			<i>Atlapetes pileatus</i>		END	<i>Myioborus pictus</i>		
<i>Parabuteo unicinctus</i>	PR		<i>Porzana carolina</i>			<i>Atlapetes virenticeps</i>			<i>Oporornis tolmiei</i>	A	END
<i>Harpagofalco solitarius</i>			<i>Porphyrio martinica</i>			<i>Basileuterus belli</i>			<i>Oriturus superciliosus</i>		END
<i>Buteo lineatus</i>			<i>Callinula chloropus</i>			<i>Basileuterus rufifrons</i>			<i>Parula superciliosa</i>		
<i>Buteo swainsoni</i>			<i>Falco americana</i>			<i>Calcarius mexicanus</i>			<i>Passerculus sandwichensis</i>		
<i>Buteo albonotatus</i>						<i>Cardellina rubrifrons</i>			<i>Passerina amoena</i>		
<i>Buteo albicaudatus</i>	PR	END	ORDEN PASSERIFORMES			<i>Cardinalis cardinalis</i>			<i>Passerina caerulea</i>		
<i>Buteo jamaicensis</i>			Familia Aegithalidae			<i>Chlorospingus ophthalmicus</i>			<i>Passerina ciris</i>		
<i>Buteo regalis</i>			<i>Psaltriparus minutus</i>			<i>Chondestes grammacus</i>			<i>Passerina cyanea</i>		
						<i>Cyanocitta stelleri</i>			<i>Passerina versicolor</i>		
Familia Cathartidae			Familia Alaudidae			<i>Dendroica coronata</i>			<i>Peucedramus taeniatus</i>		
<i>Cathartes aura</i>			<i>Eremophila alpestris</i>			<i>Dendroica graciae</i>			<i>Phoenicurus ludoviciana</i>		
						<i>Dendroica nigrescens</i>			<i>Phoenicurus melanocephalus</i>		
Familia Falconidae			Familia Bombycillidae			<i>Dendroica occidentalis</i>			<i>Pipilo erythrophthalmus</i>	P	END
<i>Circus pinnatus</i>			<i>Bombycilla cedrorum</i>			<i>Dendroica petechia</i>			<i>Pipilo fuscus</i>		
<i>Falco sparverius</i>						<i>Dendroica townsendi</i>			<i>Piraxys bidentata</i>		
<i>Falco columbarius</i>			Familia Certhiidae			<i>Dendroica virens</i>			<i>Piraxys flava</i>		
<i>Falco mexicanus</i>			<i>Certhia americana</i>			<i>Diplossus brevicauda</i>			<i>Piraxys ludoviciana</i>		
<i>Falco peregrinus</i>						<i>Ergaticus ruber</i>		END	<i>Piraxys rubus</i>		
						<i>Euphagus cyanocephalus</i>			<i>Pooecetes gramineus</i>		

CLASE AVES (continuación)	RIESGO	ENDESMISMO		RIESGO	ENDESMISMO		RIESGO	ENDESMISMO		RIESGO	ENDESMISMO
<i>Quiscalus mexicanus</i> <i>Quiscalus palustris</i> <i>Seiurus aurocapillus</i> <i>Seiurus motacilla</i> <i>Seiurus noveboracensis</i> <i>Setophaga ruticilla</i> <i>Spizella atrogularis</i> <i>Spizella pallida</i>	E	END	<i>Spizella passerina</i> <i>Sporophila torqueola</i> <i>Sturnella magna</i> <i>Vermivora celata</i> <i>Vermivora crinita</i> <i>Vermivora ruficapilla</i> <i>Vermivora virginiae</i> <i>Volatinia jacarina</i>	PR	END	<i>Wilsonia citrina</i> <i>Wilsonia pusilla</i> <i>Xanthocephalus xanthocephalus</i> <i>Zonotrichia leucophrys</i>	A	END	Familia Fringillidae <i>Carduelis nana</i> <i>Carduelis pinus</i> <i>Carduelis psaltria</i> <i>Cardinalis cardinalis</i> <i>Carpodacus mexicanus</i> <i>Coccothraustes alpestris</i> <i>Coccothraustes vespertina</i> <i>Loxia curvirostris</i>	F	END

Ibis de cara blanca (*Plegadis chihi*)



Familia Hirundinidae <i>Hirundo pyrrhonota</i> <i>Hirundo rustica</i> <i>Riparia riparia</i> <i>Scelidopteryx serripennis</i> <i>Tachycineta bicolor</i> <i>Tachycineta thalassina</i>		
Familia Laniidae <i>Lanius ludovicianus</i>		
Familia Mimidae <i>Dumetella carolinensis</i> <i>Melanotis caerulescens</i> <i>Mimus polyglottus</i> <i>Timostoma curvirostre</i> <i>Timostoma longirostre</i> <i>Timostoma ocellatum</i>		END END
Familia Motacillidae <i>Anthus rubescens</i> <i>Anthus spinoletta</i>		
Familia Muscicapidae <i>Catherus aurantirostris</i> <i>Catherus frontzi</i> <i>Catherus guttatus</i> <i>Catherus occidentalis</i> <i>Catherus ocellatus</i> <i>Myadestes obscurus</i> <i>Myadestes occidentalis</i> <i>Poliophtila caerulea</i>	A	END END

Zanate del Lerma
(*Quiscalus palustris*)



	RIESGO	ENDEMISMO		RIESGO	ENDEMISMO		RIESGO	ENDEMISMO
<i>Regulus calendula</i>			Familia Tyrannidae			<i>Pelecanus occidentalis</i>		
<i>Regulus satrapa</i>			<i>Attila spadiceus</i>			Familia Phalacrocoracidae		
<i>Ridgwingia picicola</i>		END	<i>Campostoma imberbe</i>			<i>Phalacrocorax brasilianus</i>		
<i>Sialia mexicana</i>			<i>Contopus borealis</i>					
<i>Sialia sialis</i>			<i>Contopus pertinax</i>			ORDEN PICIFORMES		
<i>Turdus assimilis</i>			<i>Contopus sorbidulus</i>	PR	END	Familia Picidae		
<i>Turdus grayi</i>			<i>Contopus virens</i>			<i>Ceoturus aurifrons</i>		
<i>Turdus infuscatus</i>	A		<i>Empidonax affinis</i>			<i>Colaptes auratus</i>		
<i>Turdus migratorius</i>			<i>Empidonax albigularis</i>			<i>Melanerpes aurifrons</i>		
<i>Turdus rufopalliatos</i>			<i>Empidonax difficilis</i>			<i>Melanerpes formicivorus</i>		
			<i>Empidonax fulvifrons</i>			<i>Melanerpes uropygialis</i>		
Familia Paridae			<i>Empidonax hammondi</i>			<i>Picoides scalaris</i>		
<i>Parus sclateri</i>			<i>Empidonax minimus</i>			<i>Picoides stricklandi</i>		END
<i>Parus wollweberi</i>			<i>Empidonax berhoberi</i>			<i>Picoides villosus</i>		
			<i>Empidonax traillii</i>			<i>Sphyrapicus thyroideus</i>		
Familia Passeridae			<i>Empidonax wrightii</i>			<i>Sphyrapicus varius</i>		
<i>Passer domesticus</i>			<i>Mitrephanes phaeocercus</i>					
			<i>Myiarchus cinerascens</i>			ORDEN PODICIPIFORMES		
Familia Ptilonotidae			<i>Myiarchus nattervi</i>			Familia Podicipedidae		
<i>Phainopepla nitens</i>			<i>Myiarchus tuberculifer</i>			<i>Podilymbus podiceps</i>		
<i>Ptilonotis cinereus</i>			<i>Myiarchus tyrannulus</i>					
			<i>Myiopagis viridicata</i>			ORDEN STRIGIFORMES		
Familia Sittidae			<i>Pachyramphus aglaiae</i>			Familia Strigidae		
<i>Sitta carolinensis</i>			<i>Pyrocephalus rubinus</i>			<i>Aegolius acadicus</i>		
<i>Sitta pygmaea</i>			<i>Sayornis nigricans</i>			<i>Asio otus</i>		
			<i>Sayornis phoebe</i>			<i>Asio flammeus</i>		
Familia Sturnidae			<i>Sayornis saya</i>			<i>Athene cucularia</i>	P	END
<i>Sturnus vulgaris</i>			<i>Tyrannus melancholicus</i>			<i>Bubo virginianus</i>	A	END
			<i>Tyrannus verticalis</i>			<i>Glaucidium gnoma</i>		
Familia Troglodytidae			<i>Tyrannus vociferans</i>			<i>Glaucidium brasilianum</i>		
<i>Campylorhynchus bronniecapillus</i>						<i>Micrathene whitneyi</i>		
<i>Campylorhynchus gularis</i>		END	Familia Vireonidae			<i>Otus flammeolus</i>		
<i>Campylorhynchus megalopterus</i>		END	<i>Vireo bellii</i>			<i>Otus kennicottii</i>		
<i>Catherpes mexicanus</i>			<i>Vireo gilvus</i>			<i>Otus trichopsis</i>		
<i>Cistothorus palustris</i>			<i>Vireo huttoni</i>			<i>Strix virgata</i>		
<i>Cistothorus platensis</i>			<i>Vireo hypochryseus</i>		END			
<i>Salpinctes obsoletus</i>		END	<i>Vireo solitarius</i>			Familia Tytonidae		
<i>Thryomanes bewickii</i>		END	<i>Vireolanus melitophrys</i>			<i>Tyto alba</i>		
<i>Thryothorus felix</i>		END						
<i>Thryothorus ludovicianus</i>			ORDEN PELECANIFORMES			ORDEN TROGONIFORMES		
<i>Troglodytes aedon</i>			Familia Pelecanidae			Familia Trogonidae		
			<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>			<i>Trogon mexicanus</i>		

CLASE MAMMALIA	RIESGO	ENDEMICISMO		RIESGO	ENDEMICISMO		RIESGO	ENDEMICISMO		RIESGO	ENDEMICISMO
ORDEN ARTIODACTYLA											
Familia Cervidae			Familia Mustelidae			Familia Molossidae			Familia Natalidae		
<i>Odocoileus virginianus</i>			<i>Lontra longicaudis</i>	A	END	<i>Esomops perotis</i>			<i>Natalus stramineus</i>		
			<i>Mustela frenata</i>			<i>Esomops underwoodi</i>					
Familia Tayassuidae						<i>Molossus aztecus</i>			Familia Phyllostomidae		
<i>Tayassu tajacu</i>			Familia Mephitidae			<i>Molossus rufus</i>			<i>Anoura geoffroyi</i>		
			<i>Conepatus mesoleucus</i>			<i>Molossus sinaloae</i>			<i>Artibeus hispidus</i>		
ORDEN CARNIVORA			<i>Mephitis macroura</i>			<i>Nyctinomops aurispinosus</i>			<i>Artibeus intermedius</i>		
Familia Canidae			<i>Spilogale putorius</i>			<i>Nyctinomops femorosaccus</i>			<i>Artibeus jamaicensis</i>		
<i>Canis latrans</i>						<i>Nyctinomops macrotis</i>			<i>Choronycteris mexicana</i>	A	END
<i>Urocyon cinereoargenteus</i>			Familia Procyonidae			<i>Tadarida brasiliensis</i>			<i>Dermacxura atrata</i>		
			<i>Basarictus astutus</i>						<i>Dermacxura phaeotis</i>		
Familia Felidae			<i>Nasua narica</i>			Familia Mormoopidae			<i>Dermacxura tobica</i>		
<i>Lynx rufus</i>			<i>Potos flavus</i>	PR	END	<i>Mormoops megalophylla</i>			<i>Desmodus rotundus</i>		
<i>Puma concolor</i>			<i>Procyon lotor</i>			<i>Pteronotus davyi</i>			<i>Echistenes hartii</i>	PR	END
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	A					<i>Pteronotus parnellii</i>			<i>Glossophaga leachii</i>		
			ORDEN CHIROPTERA			<i>Pteronotus personatus</i>			<i>Glossophaga soricina</i>		
			Familia Emballonuridae						<i>Glossophaga morenoi</i>		
			<i>Balantiopteryx plicata</i>						<i>Hylonycteris underwoodi</i>		
									<i>Leptonycteris curasoae</i>	A	END
									<i>Leptonycteris nivalis</i>	A	END
									<i>Macrotus waterhousei</i>		
									<i>Sturxia lilam</i>		
									<i>Sturxia ludovici</i>		
									Familia Antrozoidae		
									<i>Antrozous pallidas</i>		
									Familia Vespertilionidae		
									<i>Corynorhinus mexicanus</i>		
									<i>Corynorhinus townsendii</i>		
									<i>Eptesicus brasiliensis</i>		
									<i>Eptesicus furinalis</i>		
									<i>Eptesicus fuscus</i>		
									<i>Idionycteris phyllotis</i>		
									<i>Lasiurus blainvillii</i>		
									<i>Lasiurus cinereus</i>		
									<i>Lasiurus eys</i>		
									<i>Lasiurus intermedius</i>		
									<i>Lasiurus xanthinus</i>		
									<i>Myotis californicus</i>		
									<i>Myotis occultus</i>		
									<i>Myotis thysanodes</i>		

Amadillo (*Dasyprocta novemcinctus*)



	RIESGO	ENDEMIISMO		RIESGO	ENDEMIISMO		RIESGO	ENDEMIISMO		RIESGO	ENDEMIISMO
<i>Myotis velifer</i>			<i>Dipodomys ordii</i>			<i>Onychomys leucogaster</i>			<i>Reithrodontomys micradon</i>	A	END
<i>Myotis volans</i>			<i>Dipodomys phillipsii</i>			<i>Onychomys melanotis</i>			<i>Reithrodontomys sumichrasti</i>		
<i>Myotis yumanensis</i>			<i>Lionyx irroratus</i>			<i>Oryzomys bairdianus</i>			<i>Sigmodon alleni</i>		
<i>Pipistrellus hesperus</i>			<i>Lionyx pictus</i>			<i>Peromyscus leylli</i>			<i>Sigmodon fulviventer</i>		
<i>Rhogeessa alleyi</i>						<i>Peromyscus difficilis</i>			<i>Sigmodon hispidus</i>		
<i>Rhogeessa parvula</i>						<i>Peromyscus gratus</i>			<i>Sigmodon leucotis</i>		
ORDEN DIDELPHIMORPHIA			Familia Muridae			<i>Peromyscus hylaeetes</i>			<i>Sigmodon masoni</i>		
Familia Didelphidae			<i>Baiomys musculus</i>			<i>Peromyscus levipes</i>			Familia Sciuridae		
<i>Didelphis virginiana</i>			<i>Baiomys tajfari</i>			<i>Peromyscus maniculatus</i>	A	END	<i>Glaucomys volans</i>	A	END
			<i>Microtus mexicanus</i>			<i>Peromyscus merriami</i>			<i>Sciurus aureogaster</i>		
			<i>Nelsonia goldmani</i>	PR	END	<i>Peromyscus melanotis</i>			<i>Sciurus collinae</i>		
			<i>Nelsonia neotomodon</i>	PR	END	<i>Peromyscus pectoralis</i>			<i>Sciurus deppei</i>		
Familia Marmosidae			<i>Neotoma albigula</i>	A	END	<i>Reithrodontomys chrysopsis</i>			<i>Sciurus nayaritensis</i>		
<i>Tlacuatzin canescens</i>			<i>Neotoma mexicana</i>			<i>Reithrodontomys kirszti</i>			<i>Sciurus oculatus</i>	PR	END
			<i>Neotomodon alstoni</i>			<i>Reithrodontomys nigralis</i>			<i>Spermophilus mexicanus</i>		
ORDEN INSECTIVORA			<i>Oryzomys fulvescens</i>						<i>Spermophilus spilosoma</i>		
Familia Soricidae			<i>Oryzomys torridus</i>						<i>Spermophilus variegatus</i>		
<i>Crypsotis alticola</i>											
<i>Crypsotis parva</i>											
<i>Megasorex gigas</i>	A	END									
<i>Notiosorex evotis</i>											
<i>Sorex araneopus</i>											
<i>Sorex saussurei</i>	PR	END									
ORDEN LAGOMORPHIA											
Familia Leporidae											
<i>Lepus callosus</i>											
<i>Sylvilagus auduboni</i>											
<i>Sylvilagus cunicularius</i>											
<i>Sylvilagus floridanus</i>											
ORDEN RODENTIA											
Familia Geomyidae											
<i>Cratogeomys gonzalvesi</i>											
<i>Cratogeomys merriami</i>											
<i>Cratogeomys tylosinus</i>											
<i>Cratogeomys zimmeri</i>											
<i>Pappogeomys hutteri</i>											
<i>Thomomys aschricus</i>											
<i>Zugmogeomys trichopus</i>	P	END									
Familia Heteromyidae											
<i>Chaetodipus hispidus</i>											

Zorillo (*Mephitis macroura*)



Las listas de especies se obtuvieron de OSORIO y de Benítez et al. (1999), Ceballos y Galindo (1994), Ceballos y Oliva (2005), Ceballos et al. (2003), Flores Villada (1993) y Howell y Webb (1995):

Benítez, H., M.C. Arizmendi y L. Márquez, *Bases de datos de las ARCA*, <http://comabiotech.comabiotech.gob.mx/arcas/doc/arcas.html>, CIAM/SEMARNAT/INMEX/CI, México, D.F., 1999.

Ceballos, G. y C. Galindo, *Mamíferos silvestres de la cuenca de México*, Publicación núm. 12, Instituto de Ecología, IIMES-Instituto de Ecología-UNAM, México, D.F., 1984.

Ceballos, G. y G. Oliva, *Los mamíferos silvestres de México*, OSORIO-Fondo de Cultura Económica, México, s.r., 2005.

Ceballos, G., R. List et al., *Propuesta para la creación del Área de Protección de Flora y Fauna Ciénegas del Lerma*, SEMARNAT, México, D.F., 2003.

Flores Villada, O., *Hesperofoca mexicana*, Special Publication 17, Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh, Estados Unidos, 1993.

Howell, S.N.G. y S. Webb, *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*, Oxford University Press, Oxford, Inglaterra, 1995.



ICTIOFAUNA

Edmundo Díaz Pardo y
Raúl Pineda López

como son la disminución del área de distribución y del número de poblaciones, por la extirpación e incluso por su extinción, como se ejemplifica en los párrafos siguientes.

El dique construido a inicios del siglo XX para ganar suelos agrícolas, en la desembocadura del Lerma al lago de Chapala, alteró la ciénega contigua y redujo la abundancia de las plantas acuáticas, hábitat reproductivo de la popocha (*Algaense popoche*), que aunado a la posterior contaminación y sobreexplotación, explican su estatus de amenazada.

La desecación de los humedales del valle de Toluca, con los mismos fines, y la contaminación, provocaron la pérdida del hábitat de *Algaense barbata* y *Chirostoma riojai*, taxas peculiares del Alto Lerma, en la actualidad representadas por una y dos poblaciones respectivamente.

Varios factores han afectado a las comunidades de peces en diferentes áreas del Medio Lerma. La erosión, el desequilibrio hidrológico y una prolongada sequía en el lago de Cuitzeo en la década de 1930, provocaron la extinción del charal *Chirostoma compressum*. En este mismo sitio, la introducción de la tilapia y la mala calidad del agua trajeron como consecuencia la extirpación de nueve especies nativas y la sustitución de una pesquería multispecífica por la de la dominante tilapia. La contaminación y el uso excesivo de los manantiales han suscitado que de *Hubbisia turneri* y *Skiffia bilineata* solo sobrevivieran dos y cuatro poblaciones, en el mismo orden. La pesquería del bagre nativo *Ictalurus dugesi* en el lago de Yuriria se perdió debido al crecimiento desmesurado del lirio acuático y a la eutrofización. El charal *Chirostoma bartoni*, microendémico del lago-cráter de valle de Santiago, Guanajuato, está próximo a la extinción debido a la extracción de agua.

La sobreexplotación de los pescados blancos de Pátzcuaro y Chapala, aunado a la eutrofización y, en el caso del último, la pérdida en el volumen de agua, han abatido su abundancia y provocado que las tallas comerciales disminuyan (Lyons *et al.*, 2000).

Estudios recientes en el río Laja (Mercado Silva *et al.*, 2006), un tributario del Medio Lerma, muestran los cambios en la composición y estructura de las comunidades de peces por la degradación ambiental.

Así, las especies nativas, las béntónicas, las sensibles y las carnívoras declinan, mientras que las exóticas, tolerantes y omnívoras tienden a incrementarse.

El efecto del deterioro de la cuenca Lerma-Chapala sobre los peces se resume con la presencia de 17 (43%) de sus 42 especies en la NOM-059-ECOL (DOF, 2001).

Otro indicador es la parasitofauna de los peces de esta cuenca, puesto que al ser un componente natural de los mismos, los procesos evolutivos que han dado origen a la altamente endémica ictiofauna lermense han sido acompañados por procesos de colonización y establecimiento de una parasitofauna caracterizada por una alta riqueza de nemátodos y pocas especies de los restantes grupos de helmintos, así como por la ausencia de especies nativas de crustáceos parásitos (Salgado Maldonado *et al.*, 2001).

Por ello, desde el punto de vista de la conservación, la pérdida de especies de helmintos nativos debe tener el mismo nivel de consideración que la pérdida de sus hospederos. Aunque sólo se ha analizado

cerca del 50% de las especies ícticas de la cuenca Lerma-Chapala, se han encontrado 43 especies de helmintos, seis de ellos endémicos de la cuenca (Salgado Maldonado *et al.*, 2001). Otro componente de la parasitofauna son las especies introducidas, tanto por los niveles de infección que han alcanzado, como por su ahora amplia distribución, derivada de la introducción con fines acuiculturales y ornamentales de ciprinidos asiáticos (carpas) y cíclidos africanos (tilapias) (Pineda López *et al.*, en prensa).

Los helmintos *Pseudocapillaria tomentosa*, *Bothriocephalus acheilognathi*, *Centrocestus formosanus*, *Cichlidogyrus sclerosus* y los crustáceos *Lernaea cyprinacea* y *Neogyrasius japonicus* son peculiares por su baja especificidad hospedatoria y sus exitosos mecanismos de transmisión y colonización (Salgado Maldonado *et al.*, 2001; Pineda López *et al.*, en prensa). Estos taxa enriquecen la fauna de parásitos, pero representan un peligro potencial para la conservación de los peces nativos, pues son generadores de procesos de deterioro ambiental de los sistemas acuáticos.

MÉXICO SE DISTINGUE por la riqueza y alto grado de endemismo de los peces dulceacuáticos, pero también por la extinción de especies de este grupo, que en los últimos 75 años asciende a 24, cifra considerada entre las más dramáticas del planeta (Paxtón y Eschmeyer, 2003).

La cuenca Lerma-Chapala es particularmente distintiva por su endemismo, ya que 30 de las 42 especies que habitan en ella son exclusivas de la misma (Soto Galera *et al.*, 1998), incluso se reconoce su división en: Alto, Medio y Bajo Lerma, debido a los taxa típicos de cada una de ellas (Díaz Pardo *et al.*, 1993).

El sistema Lerma-Chapala está considerado como uno de los más degradados del país, producto de la modificación del hábitat, alteración de la calidad del agua, sobreexplotación e introducción de especies exóticas. Sus peces muestran señales de declinación,



Allotoca dugesi (hembra)



Allotoca dugesi (macho)



Hubbisia turneri (macho)



Skiffia lermae (macho)



Skiffia lermae (hembra)



Skiffia bilineata (hembra)



Skiffia francesae (hembra)



Skiffia francesae (macho)



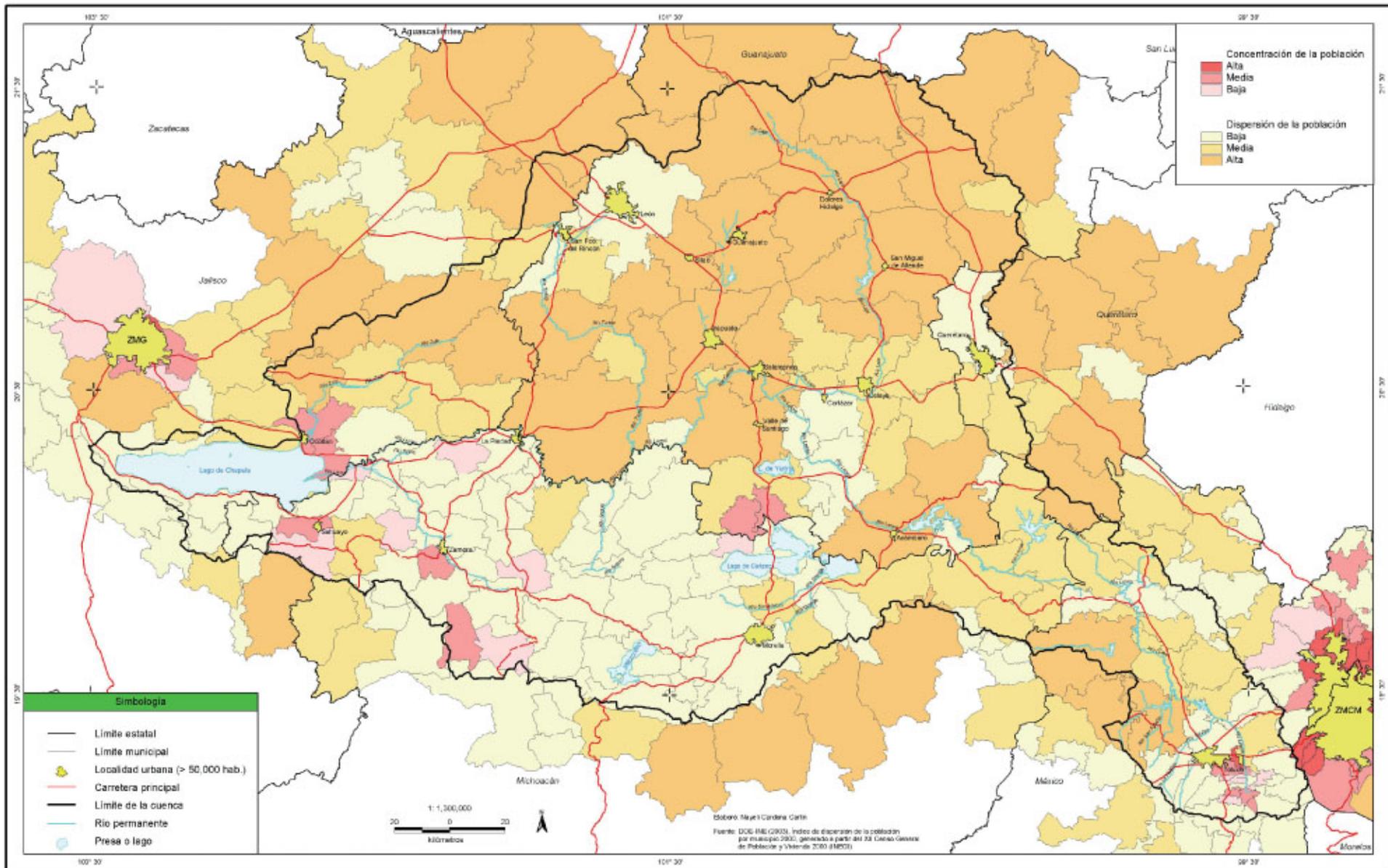
Metacercaria enquistada

SITUACIÓN SOCIAL DE LA CUENCA

LOS COMPONENTES BIOFÍSICOS DE UNA CUENCA se conjugan con una multiplicidad de elementos construidos sobre una base social. La articulación de ambos componentes da como resultado formas de organización social y de estructuración del espacio determinadas por el acceso a los recursos naturales. Las formas en las que históricamente la sociedad se ha organizado y ha construido su espacio ha detonado procesos como la modificación de la dinámica de crecimiento poblacional y el cambio en el patrón de flujos migratorios, intensificando fenómenos como la concentración de la población en los centros urbanos, una dispersión de la población rural y una presión excesiva sobre los recursos naturales. El análisis de la dinámica socioeconómica que caracteriza a la población de la cuenca facilita la comprensión de este escenario, en el que las necesidades de crecimiento económico y de desarrollo social parecieran contraponerse con las necesidades ambientales.



CUENCA LERMA-CHAPALA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA. DISPERSIÓN DE LA POBLACIÓN POR MUNICIPIO, 2000



DINÁMICA DE LA POBLACIÓN

Nayeli Cardona Carlin

LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX fue escenario de grandes cambios en la dinámica de la población mexicana, registrando un descenso importante en los niveles de fecundidad y mortalidad y la modificación de sus patrones migratorios. Las consecuencias de estos cambios fueron el crecimiento en el tamaño de la población, el envejecimiento paulatino de la estructura por edad y la redistribución territorial de la población al interior del país (INEGI, 2000).

La forma en que se distribuye la población en el territorio está determinada en gran medida por factores de tipo económico, social, político, histórico, ambiental y cultural, entre los cuales se pueden destacar aspectos como los recursos disponibles, el uso atribuible, el crecimiento económico y la oferta de infraestructura y servicios. Estos aspectos determinan en conjunto las condiciones de vida de la población y sus niveles de bienestar.

Físicamente, la cuenca está conformada por 204 municipios, que están contenidos o poseen superficie en cualquier porcentaje dentro de su superficie,

mientras que el área de influencia¹ de la cuenca Lerma-Chapala quedó conformada por 309 municipios (ver recuadro en este volumen). Dentro de sus límites físicos, la cuenca alberga a más de 15 millones de personas (16% de la población nacional) (INEGI, 2000), mientras que el área de influencia concentra más de la tercera parte de la población nacional. Esta población se distribuye en los estados de Guanajuato, Jalisco, estado de México, Michoacán, Querétaro y el Distrito Federal (INE, 2003).

La dinámica poblacional² de cada uno de dichos municipios presenta características dispares. Más de 129 municipios (40%) de la zona de influencia de la cuenca mantuvieron un crecimiento constante entre 1950 y 1990. Las áreas con mayor crecimiento comprenden municipios como Lerma, San Juan del Río, Tequisquiapan, Guanajuato, Corregidora y El Marqués, entre otros. Estos municipios se distinguen por su participación en el corredor industrial de la cuenca o por su atractivo turístico, por lo cual la oferta de empleos y servicios ha propiciado el movimiento de la población hacia ellos. Una situación diferente se presenta en varios municipios del estado de Michoacán, con tasas aceleradas de decrecimiento poblacional, lo que posiblemente indica un alto índice de migración a otras zonas del país o al extranjero, principalmente hacia los Estados Unidos.

DENSIDAD DE POBLACIÓN

La densidad de población promedio del área que abarcan los municipios integrantes de la cuenca es de 187 habitantes/km² la cual es tres veces mayor al valor nacional. Entre los municipios con área dentro de la cuenca que presentan mayor densidad de población se encuentran Naucalpan de Juárez (5,703 h/km²), Metepec (2,816 h/km²) y San Mateo Atenco (2,471 h/km²) en el estado de México. En Guanajuato podemos mencionar a León (903 h/km²), Celaya (692 h/km²) e Irapuato (521 h/km²). Los municipios de Querétaro (882 h/km²), Morelia (523 h/km²) y Ocotlán (352 h/km²) son los de mayor densidad de población para sus respectivos estados en el territorio de la cuenca. Al contrario,

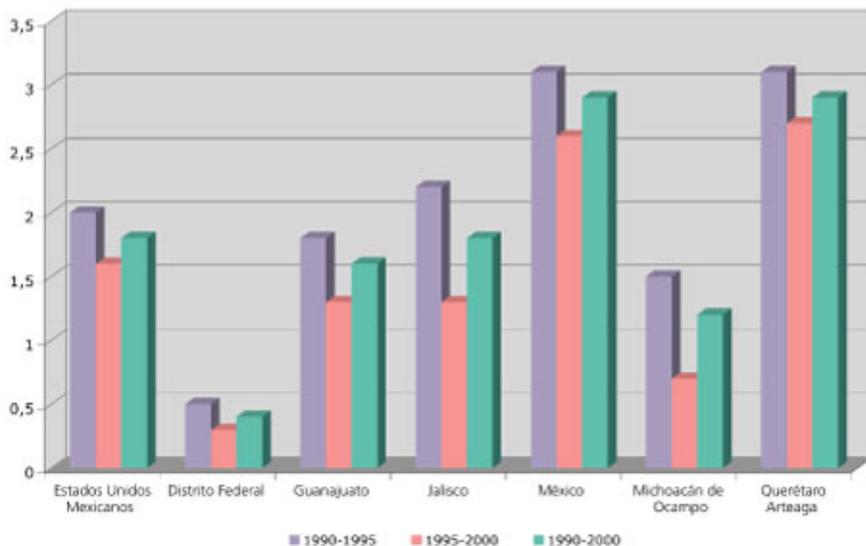
los municipios con menor densidad de población son: Madero, Michoacán (16 h/km²), Victoria, Guanajuato (17 h/km²) y Quitupan, Jalisco (17 h/km²).

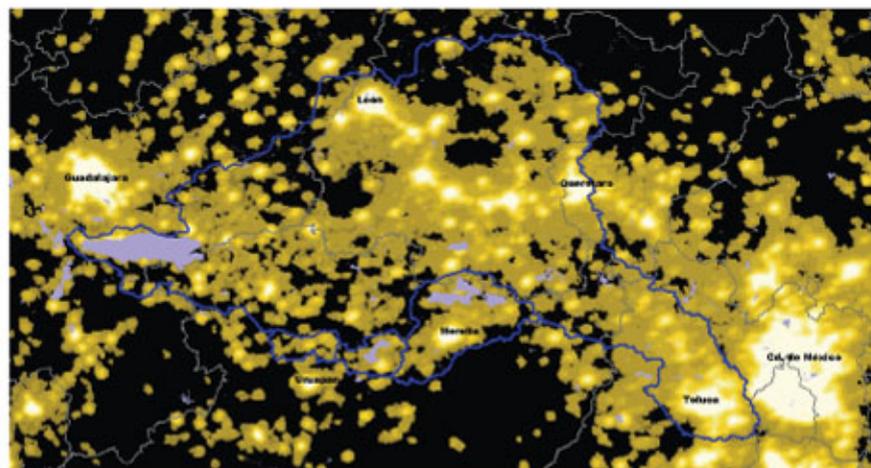
DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN

Dentro del área de la cuenca Lerma-Chapala se encuentran importantes ciudades, tales como León, Toluca, Querétaro y Morelia, las cuales han marcado una dinámica poblacional regional. En el área de influencia encontramos los polos de concentración demográfica más grandes del país: la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la Zona Metropolitana de Guadalajara, las cuales han ejercido una fuerte influencia en la distribución de la población en el territorio de la cuenca, especialmente por las vías de comunicación que se han diseñado para unir estas grandes metrópolis y mantener la intensa actividad comercial que caracteriza la zona.

El análisis de la distribución de la población de la cuenca Lerma-Chapala refleja que la mayoría de sus habitantes se han concentrado en estas zonas urbanas. Este proceso de urbanización de la población ha resultado en la dispersión de la población rural, imponiendo un doble reto para el desarrollo socioeconómico de la cuenca. Por un lado, la red de ciudades integrantes de la cuenca enfrenta una excesiva concentración en la demanda de servicios y una intensificación de la presión ejercida sobre los recursos naturales. Por otro lado, la acentuada dispersión de la población rural en numerosas y pequeñas localidades en todo el territorio de la cuenca, plantean el reto de un esfuerzo constante en la formulación de programas de desarrollo regional y ordenamiento territorial de la población.

Tasas de Crecimiento Poblacional.
Fuente: Elaboración propia. INEGI, Censo General de Población y Vivienda 1990 y 2000, Censo 1995.





PATRONES MIGRATORIOS

La atracción migratoria mantiene una estrecha relación con las posibilidades de obtener un mejor nivel de vida, especialmente con el acceso a fuentes de empleo y servicios. La mayoría de los municipios de la cuenca Lerma-Chapala presentan una atracción migratoria acumulada débil o muy débil. En el periodo que va de 1995 al 2000, un número importante de municipios ha disminuido su grado de atracción poblacional, pasando a una atracción moderada. Municipios como Zapopan, en Jalisco; Querétaro y San Juan del Río, en Querétaro; y Metepec y Texcoco en el estado de México, entre otros, han frenado de forma significativa su capacidad de atracción poblacional de otras entidades.

Sólo en 24 municipios se registra un nivel muy alto de personas nacidas en otra entidad, la mayoría están localizados en el estado de México, como Naucalpan de Juárez, Huixquilucan, Atizapán de Zaragoza, Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, Ixtapaluca, Tlanepantla de Baz y Cuautitlán Izcalli, entre otros.

Los municipios con mayor atracción migratoria se han distinguido por un alto desarrollo industrial y del ramo constructor, imponiendo un reto a los gobiernos locales para tratar de satisfacer las necesidades sociales y elevar las condiciones de vida de sus habitantes. Otra forma de atracción migratoria es la que se presenta en el municipio de Ixtapaluca, en el estado de México donde, a raíz de la intensa actividad inmobiliaria, principalmente de vivienda de interés social, el grado de atracción ha aumentado considerablemente.

Por otro lado, en varios municipios de la cuenca, como Charapán o Cherán, en el estado de Michoacán, encontramos tasas de decrecimiento poblacional aceleradas, lo que nos indica una alta migración a otras zonas del país o al extranjero, principalmente a los Estados Unidos. Si bien en Michoacán se enfatiza esta situación, los estados integrantes de la cuenca Lerma-Chapala son considerados en general como importantes fuentes de mano de obra migrante. En promedio, el 13% de los hogares asentados en la cuenca Lerma-Chapala cuentan con emigrados en los Estados Unidos y el

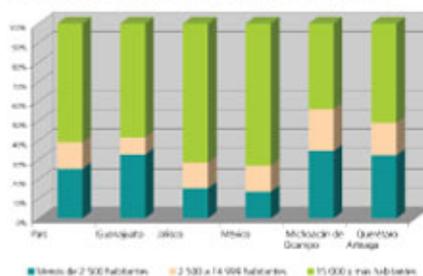
Luces de las zonas urbanas en la cuenca Lerma-Chapala (2000). Imagen y procesamiento de datos: NOAA's National Geophysical Data Center. Datos de DMSP recolectados por la US Air Force Weather Agency, <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/>

12% de los hogares reciben remesas provenientes del mismo país.

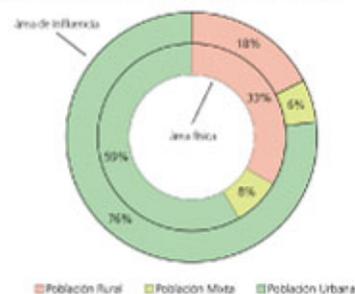
En términos generales, la dinámica poblacional de la cuenca plantea retos importantes, pues al concentrarse la mayoría de la población en zonas urbanas, el resto del territorio presenta una dispersión poblacional media-alta, especialmente al norte y este de la misma, lo cual dificulta el acceso a servicios o vías de comunicación, acentuando su situación de desventaja ante el reto del desarrollo. El desafío que enfrentan los municipios con mayor densidad de población no es menos importante ya que afrontan una gran demanda en términos de vivienda y servicios, además de concentrar la presión hacia los recursos naturales en una pequeña porción del territorio de la cuenca.

Por otro lado, los flujos migratorios, considerados como corrientes de movilidad dinámicas y flexibles, comprenden distintos tipos de personas y de motivaciones, con papeles y métodos diferentes de inserción en las sociedades que los acogen. El impacto de la emigración e inmigración sobre la dinámica social y ambiental en la cuenca es diverso, pero sin duda es un fenómeno que ha marcado la creación y el crecimiento de zonas urbanas y el despoblamiento de las áreas rurales.

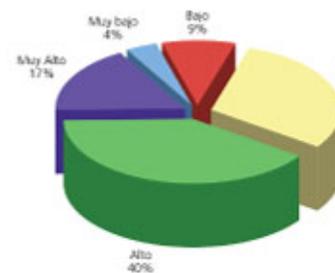
Población por tamaño de localidad. Fuente: Elaboración propia. INEGI, XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, 2000.



Población rural-urbana de la cuenca Lerma-Chapala. Fuente: Elaboración propia. XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, 2000.



Grado de Intensidad Migratoria. Porcentaje por municipios. Fuente: Elaboración propia, con estimaciones de CONAPO con base en la muestra del 10% del XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, 2000. No se cuenta con datos para el estado de Querétaro.

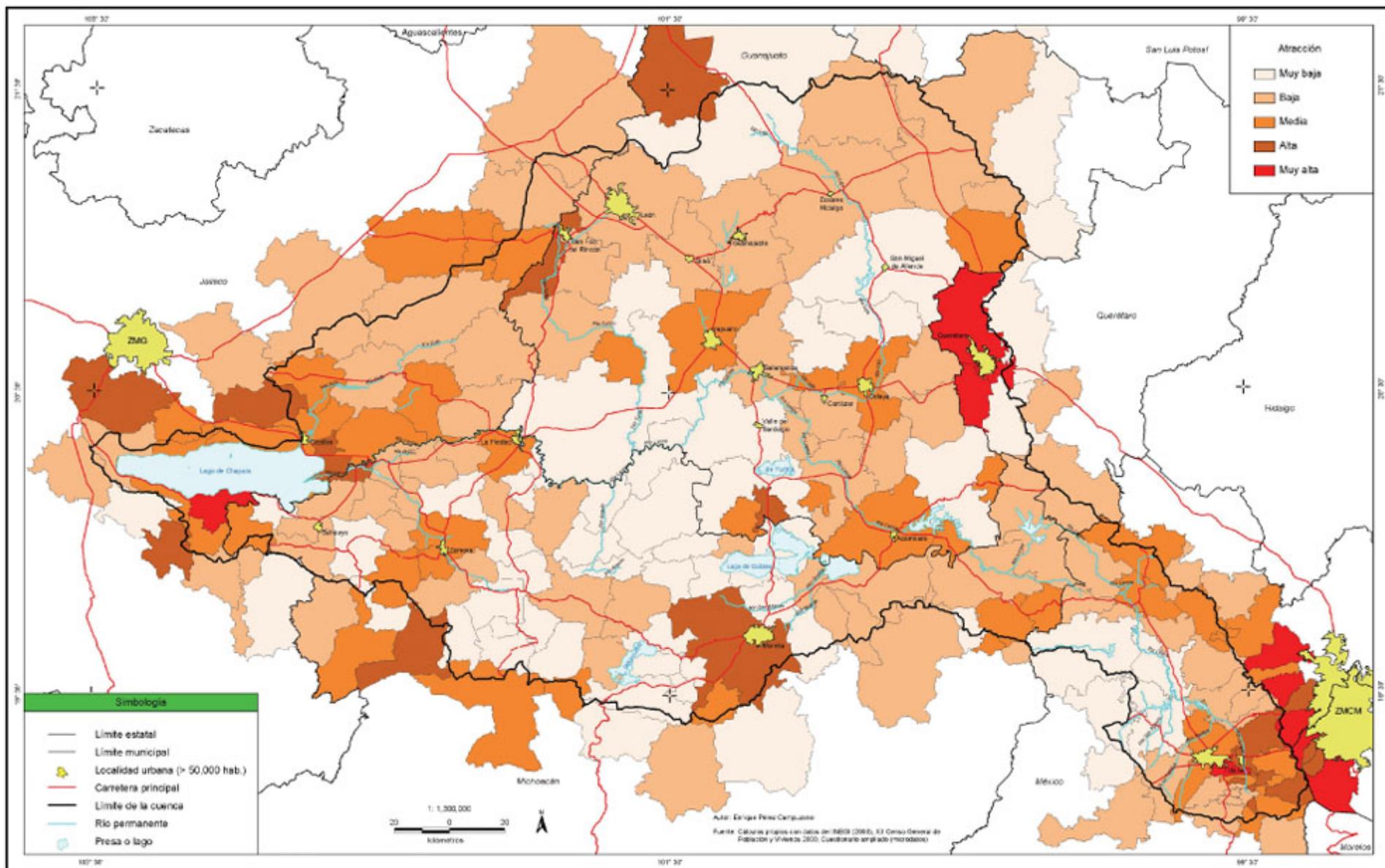


¹ La metodología para la determinación del área de influencia se puede consultar en: Diagnóstico Socioeconómico de la cuenca Lerma-Chapala. www.inc.gob.mx/dgocce/cuencas/download/diag_lerma_chapala.pdf

² Algunos elementos que caracterizan la dinámica de una población son su tamaño, su patrón de crecimiento y decrecimiento y su distribución en el territorio.



INMIGRACIÓN POR MUNICIPIO, 2000



MIGRACIÓN

Enrique Pérez Campuzano

LA MIGRACIÓN es uno de los fenómenos sociales que más contribuyen a la distribución de los recursos humanos. Los individuos que dejan un lugar para residir en otro llevan consigo identidades culturales y patrones socioeconómicos determinados, entre otras cosas, por sus características educativas y laborales, mismas que les sirven para insertarse en el mercado de trabajo y/o de vivienda de las sociedades que los acogen.

Dada la importancia cobrada por una serie de ciudades de tamaño intermedio y grande, la cuenca Lerma-Chapala y su área de influencia se han vuelto atractoras de población. En este caso, creemos importante saber quiénes son los que llegan y los que se van tanto de la cuenca como de su área de influencia.

Entre 1995 y 2000, la cuenca recibió en total 784,767 individuos, mientras que expulsó a 684,095; lo que se traduce en un Saldo Neto Migratorio (SNM) positivo de poco más de 100,000 personas. Por su parte, el área de influencia recibió un total de 2,102,864 individuos, mientras que salieron de ella 2,102,864 (un SNM de 2,148) (Tabla 1).

En cuanto al origen y destino de la población, la mayor parte de los movimientos son de corta distancia, presentando desplazamientos importantes al interior de la cuenca y un alto intercambio de población entre ésta y su área de influencia. El 37.5% del

total de personas que emigraron entre 1995 y 2000, lo hizo teniendo como destino otro municipio dentro de la cuenca. Le siguen como destino los municipios del área de influencia de la cuenca (37.3% se movió hacia alguno de éstos) y, por último, los municipios del resto del país. Por otro lado, la población inmigrante en los municipios de la cuenca provenía en su mayor parte del área de influencia (35.4%), en segundo lugar, de algún municipio en el interior de la misma (32.7%) y en tercer lugar del resto del país (31.9%).

NIVEL EDUCATIVO DE LOS MIGRANTES

Considerando el perfil educativo de la población que llega y de la que abandona la cuenca, así como los municipios de su área de influencia, se observa que ambos presentan un balance positivo en materia de atracción de población calificada (Tabla 2), aún cuando entre la población que cambió de residencia en 1995 predomina aquella con educación básica. Por ejemplo, la población inmigrante de la cuenca con nivel educativo igual o superior a licenciatura equivalía al 23.1%, mientras que en la emigrante ese mismo nivel educativo alcanzó el 22.4%. En el caso del área de influencia ambos porcentajes fueron 23.3% y 19.2%, respectivamente. Este patrón es explicado en gran medida por la importancia que tienen las zonas metropolitanas de la cuenca en la atracción de población calificada.

ATRACCIÓN, EXPULSIÓN Y BALANCE NETO MIGRATORIO POR MUNICIPIO

Para medir la atracción se utilizó el porcentaje de población de cinco años y más que no residía en el mismo municipio que en el año de 1995 (ver mapa en la página de enfrente). En total seis municipios tienen muy baja atracción (2.9%), 13 de ellos (6.3%) poseen alta atracción y otros 13 (6.3%) mantienen una muy alta atracción de población.

Las delegaciones del Distrito Federal pertenecientes al área de influencia de la cuenca y los municipios conurbados de la Ciudad de México; así como los municipios de la Zona Metropolitana

RESIDENCIA EN 1995	RESIDENCIA EN 2000				
	Cuenca	Influencia	Resto del País	Total	
	Cuenca	256,498	254,815	172,762	684,095
Influencia	277,924	1,373,879	451,061	2,102,864	
Resto del País	250,345	476,298	NA	726,643	
Total	784,767	2,105,012	623,823	3,513,602	
RESIDENCIA EN 1995	BALANCE NETO MIGRATORIO				
	Cuenca	Influencia	Resto del País	Total	
	Cuenca	NA	23,089	77,583	100,672
Influencia	-23,089	NA	25,237	2,148	
Resto del País	-77,583	-25,237	NA	-102,820	
Total	-100,672	-2,148	102,820	0	

Tabla 1 Total de movimientos de los municipios de la cuenca y su área de influencia. Población de cinco años y más. Fuente: Elaboración propia con datos del Cuestionario Ampliado del XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, 2000.

de Toluca y de la Zona Metropolitana de Querétaro son los que tienen una mayor concentración de población inmigrante, concentrando el 57% del total.

Por su parte, para medir la emigración se tomó el porcentaje de los individuos que dejaron su municipio de residencia entre 1995 y 2000, tomando como base el total de población municipal en 1995 (Mapa 2). Cinco municipios (2.4%) tienen baja y muy baja expulsión de población, mientras que 62 de ellos (30.1%) se encuentran en el otro extremo. Las delegaciones del Distrito Federal y los municipios del estado de México que pertenecen a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México son los que presentan una mayor emigración de su población, seguramente como resultado de la movilidad residencial al interior de ésta.

Otro indicador importante de la dinámica migratoria es el Balance Neto Migratorio, que considera el criterio de atractor o expulsor de la población (Inmigración-Emigración, ver mapa *Balance Neto Migratorio por Municipio, 2000*, en la página 45).

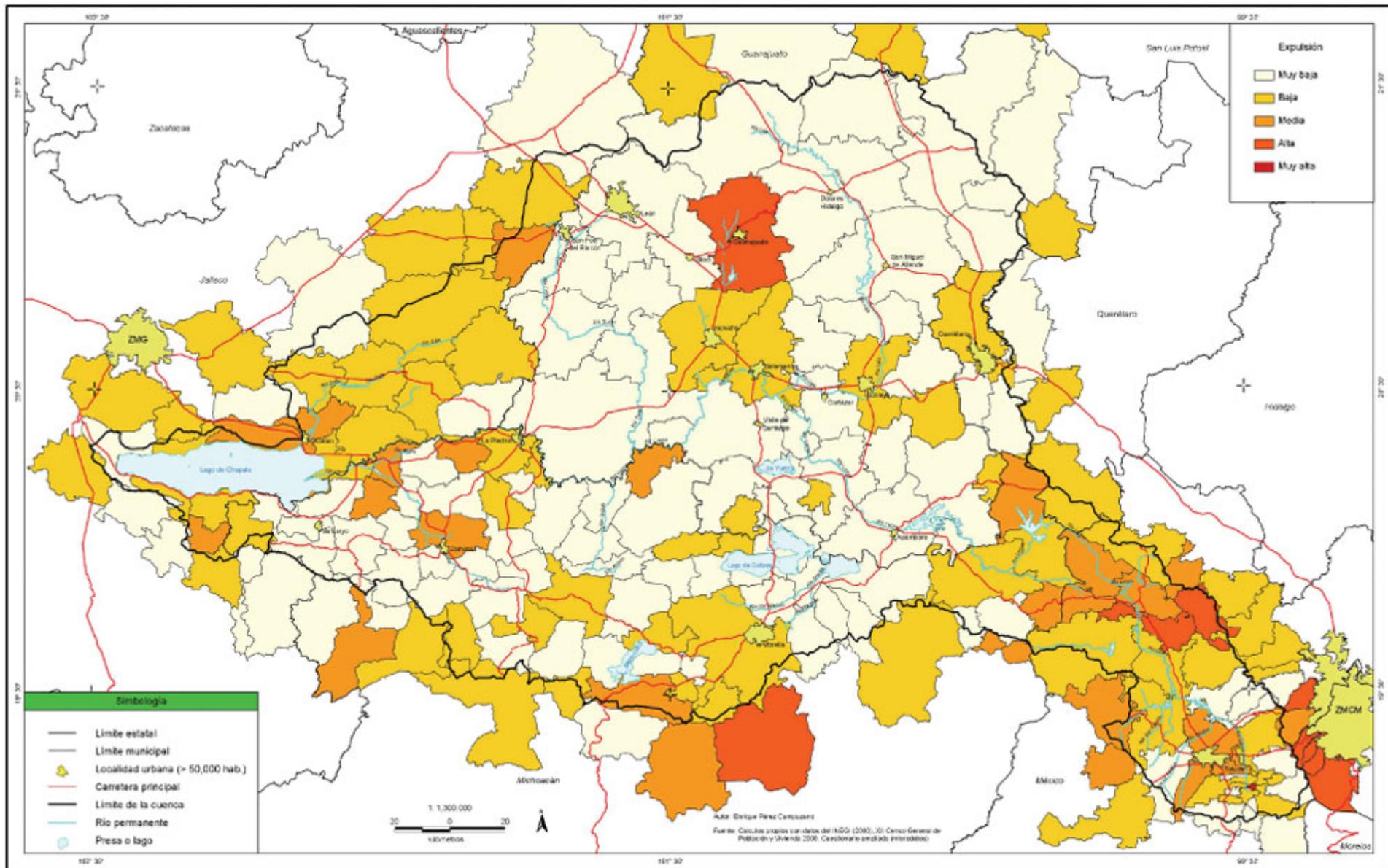
De acuerdo con este indicador, 67 demarcaciones (32.5%) pueden considerarse de alta y muy alta expulsión de población, 124 (60.2%) de baja atracción; seis (3.4%) de media atracción y diez de ellos con atracción alta.

Los municipios hacia donde se orienta la expansión de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Huixquilucan y Nicolás Romero) y los municipios de las zonas metropolitanas de Querétaro, León y Morelia, son los que presentan los balances netos migratorios más altos. Por su parte, los municipios de carácter rural principalmente, son los que presentan los balances netos migratorios más desfavorables (ver mapa *Balance Neto Migratorio por Municipio, 2000*).

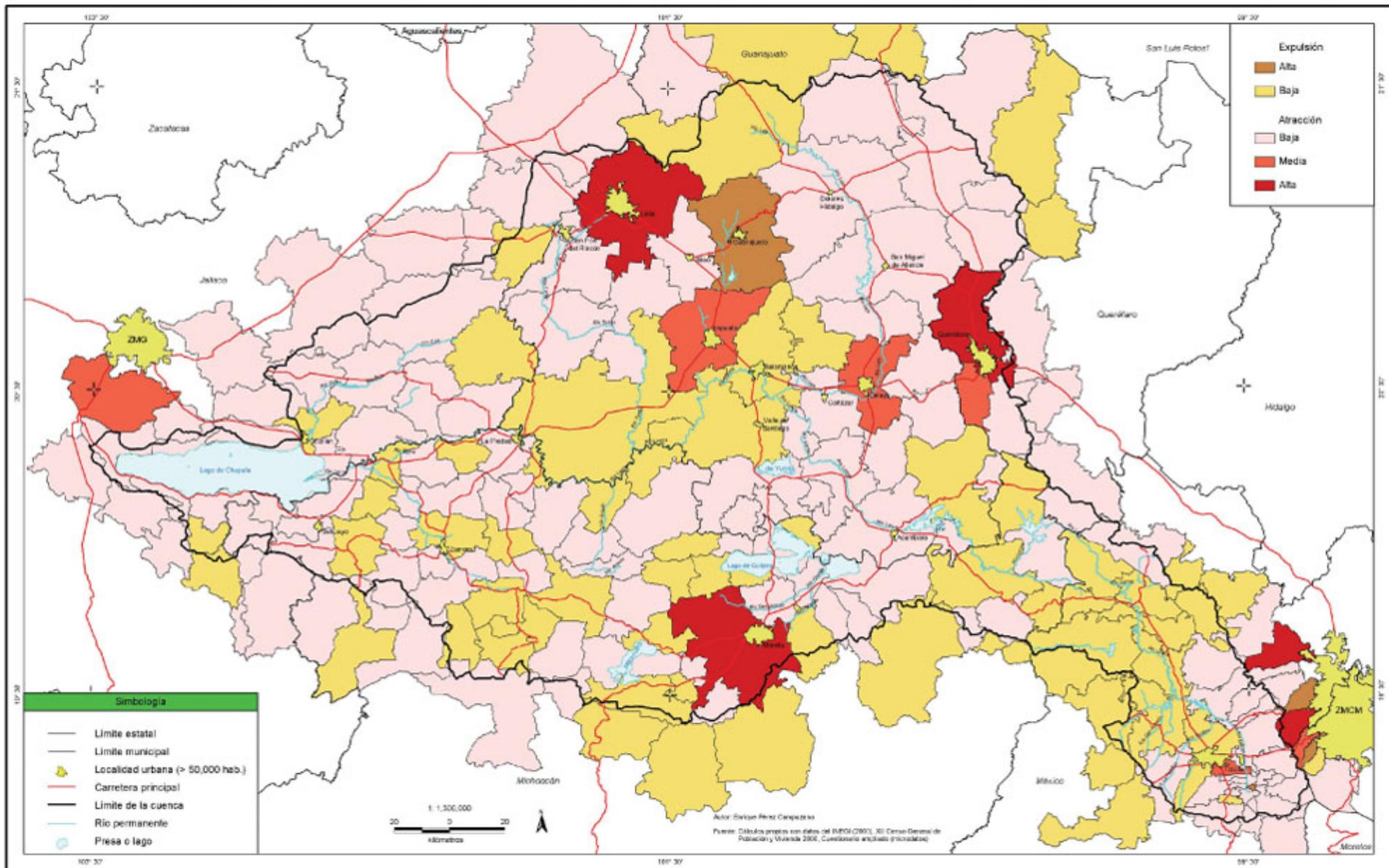
Tabla 2 Migración hacia y desde los municipios de la cuenca y sus municipios de influencia según nivel de escolaridad de los migrantes. Población de 18 años y más. Fuente: Elaboración propia con datos del Cuestionario Ampliado del XI Censo General de Población y Vivienda, INEGI, 2000.

Nivel Escolar	MUNICIPIOS DE LA CUENCA				MUNICIPIOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA			
	Inmigración	Emigración	Inmigración%	Emigración%	Inmigración	Emigración	Inmigración%	Emigración%
Primaria o menos	120,453	94,875	32.1	31.1	151,608	179,911	29.3	34.4
Secundaria	81,444	71,201	21.7	23.4	117,937	128,119	22.8	24.5
Bachillerato	50,921	41,913	13.6	13.8	77,395	70,136	14.9	13.4
Normal	1,899	962	0.5	0.3	1,890	1,340	0.4	0.2
Técnica	26,518	23,704	7.1	7.8	40,395	34,192	7.8	6.5
Licenciatura	79,361	62,260	21.2	20.4	110,774	92,150	21.4	17.6
Posgrado	2,268	5,886	1.9	3.9	9,669	8,091	1.9	1.5
No Especificado	7,108	3,915	1.9	1.3	7,393	9,511	1.4	1.8
Total	374,772	304,716	100.0	100.0	516,859	523,250	100.0	100.0

EMIGRACIÓN POR MUNICIPIO, 2000



BALANCE NETO MIGRATORIO POR MUNICIPIO, 2000



URBANIZACIÓN

Adrián Guillermo Aguilar
e Irma Escamilla Herrera

EL PROCESO DE URBANIZACIÓN DEL PAÍS en general, y de la zona de estudio en particular, se ha caracterizado por la concentración de población en grupos de ciudades en ciertas regiones, y el desarrollo y expansión de centros urbanos que se destacan de manera individual por ser, por ejemplo, capitales estatales o centros manufactureros. Particularmente desde la segunda mitad del siglo XX, el proceso de urbanización en nuestro país se profundizó con la adopción de un modelo económico de industrialización sustitutiva de importaciones; a partir de ese momento, los asentamientos humanos aumentaron sistemáticamente el porcentaje de población urbana respecto a la población total; el desarrollo económico e industrial y la urbanización han mantenido una relación necesaria y recíproca y la urbanización puede ser entendida como un aumento y multiplicación de centros de concentración de población y un aumento de la participación de la población urbana respecto a la total.¹

El volumen y distribución de la población durante la segunda mitad del siglo XX hasta el presente ha aumentado de tal manera en el territorio nacional, que actualmente vivimos en un país predominantemente urbano, donde se considera que el 61% de la población vive en centros urbanos. Por su parte, la cuenca Lerma-Chapala se extiende dentro de dos de

las principales regiones geo-económicas de México;² para el año 2000 las localidades urbanas dentro de la cuenca representaron el 17% del número total de localidades a nivel nacional; concentrando un total de 8,814,641 habitantes, equivalente al 9% de la población total y cerca del 15% de la población urbana nacional.

Vale la pena destacar tres procesos urbanos principales dentro de la cuenca. Primero, una marcada disparidad del crecimiento de la población urbana y su distribución por entidad federativa. Entre 1990 y 2000 todos los centros urbanos de la cuenca presentaron una tasa de crecimiento (0.7%) por debajo de la media nacional (2.4%); este crecimiento promedio oculta una enorme desigualdad en el incremento urbano por entidad federativa. Por una parte, la población urbana de entidades como Jalisco y el estado de México creció por arriba de promedio

¹ Población urbana es aquella que vive en las ciudades y población rural la que habita fuera de ellas, siendo necesario categorizar a las localidades en rurales, mixtas-rurales, mixtas-urbanas y urbanas. Estas últimas de acuerdo al tamaño de su población a partir de 15 mil habitantes se clasifican en ciudades pequeñas, ciudades medias, ciudades grandes, zonas metropolitanas y grandes metrópolis.

² De acuerdo con la clasificación geoeconómica de Bassols (1983) la Región Centro se integra con el D.F., Hidalgo, estado de México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala; y la Región Centro Occidente la conforman Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco y Michoacán.



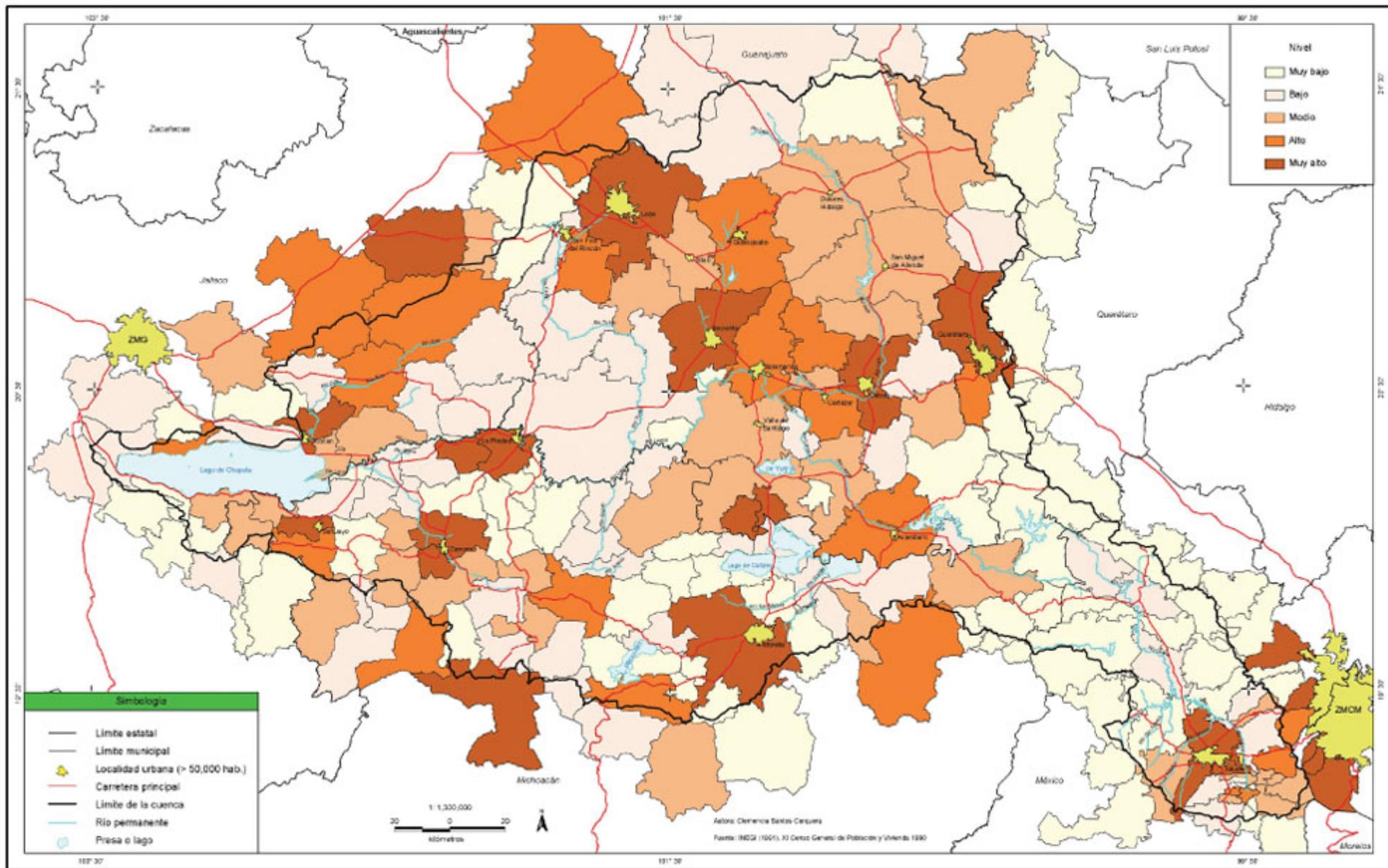
FOTO: BANCO MUNDIAL

Arriba: vista de la Ciudad de México, abajo: poblado cerca del lago de Chapala, Jalisco

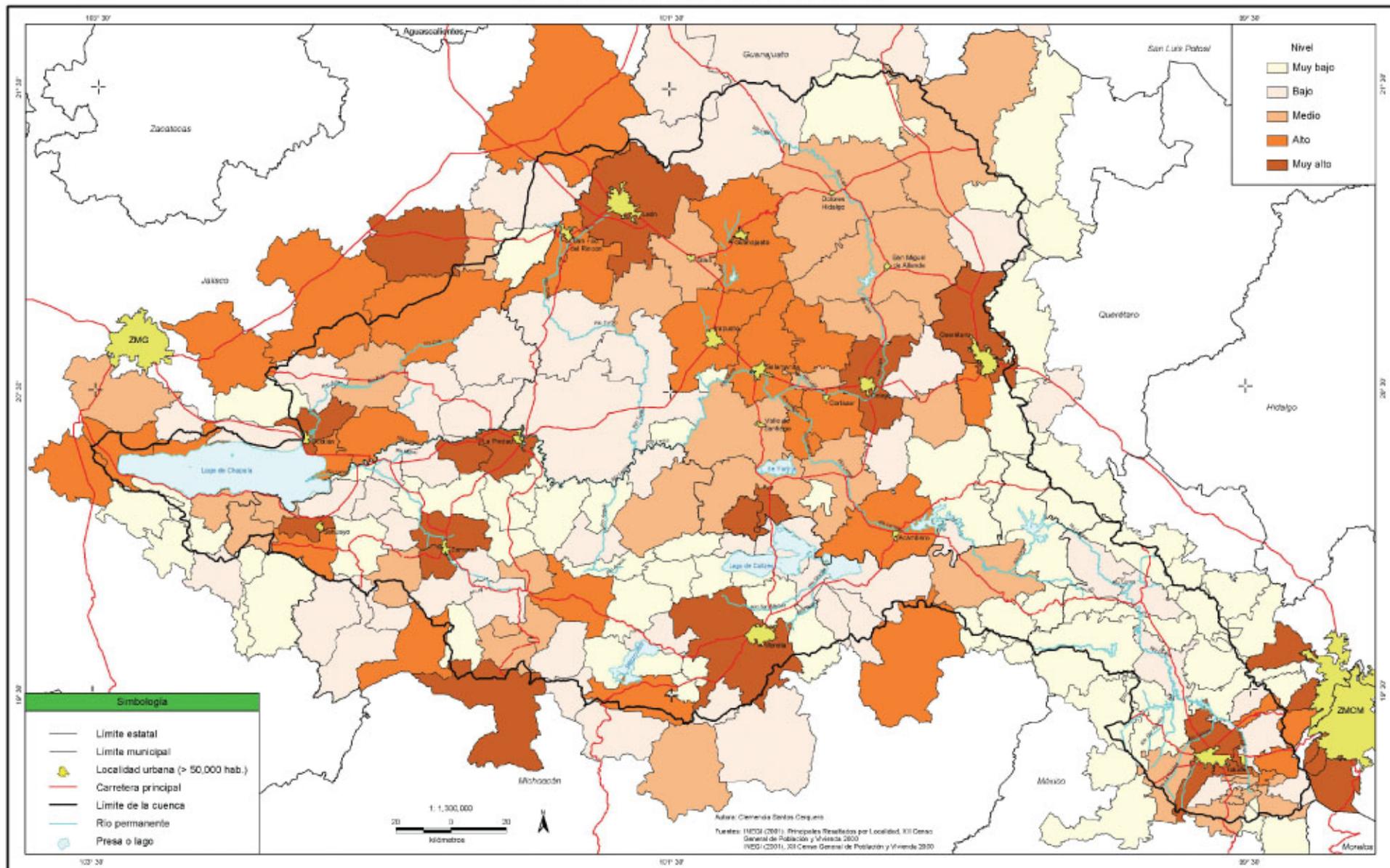


FOTO: ANAÍSA TORRES

NIVEL DE URBANIZACIÓN POR MUNICIPIO, 1990



NIVEL DE URBANIZACIÓN POR MUNICIPIO, 2000



ZONAS METROPOLITANAS Y PRINCIPALES CENTROS URBANOS, 2000

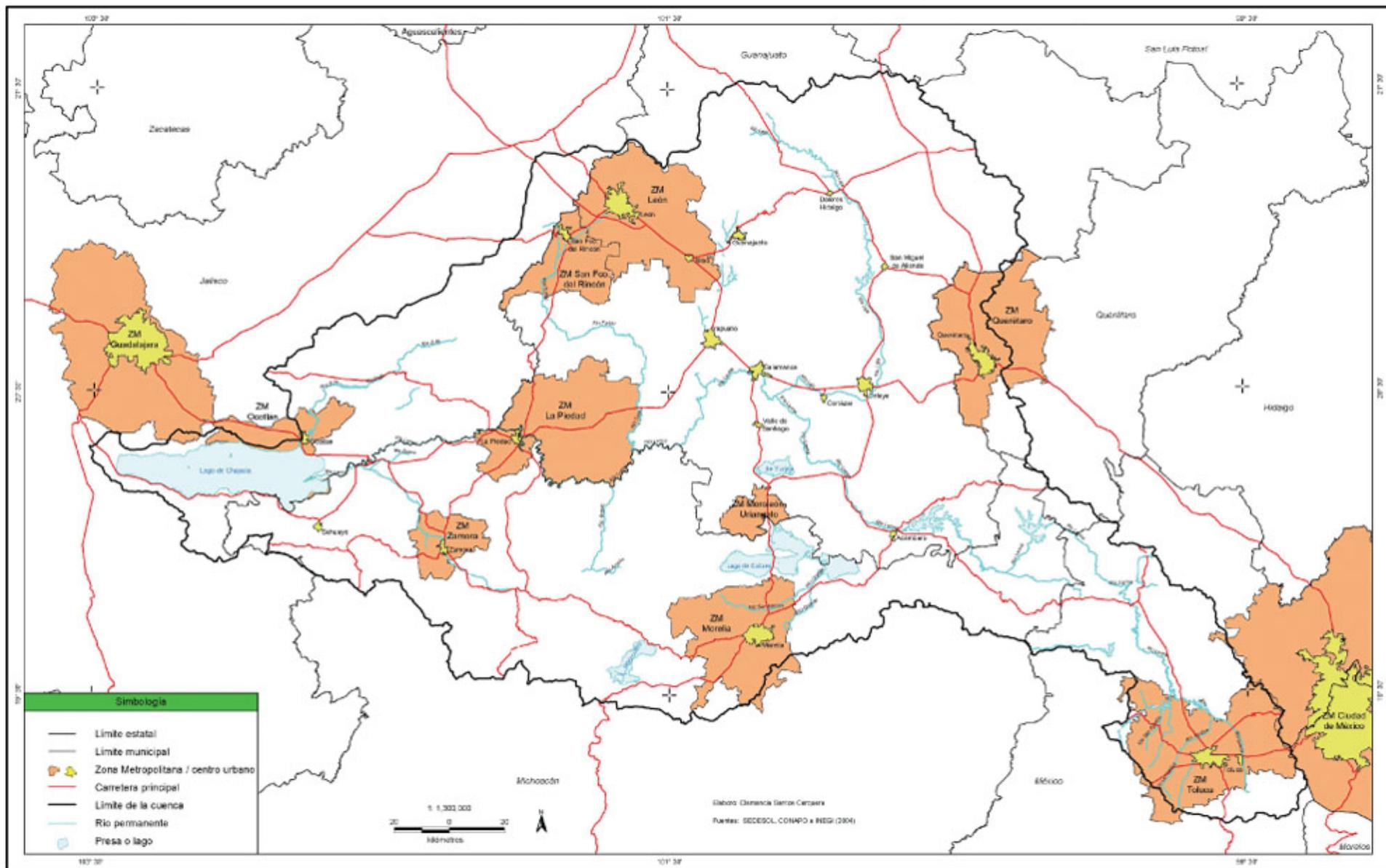
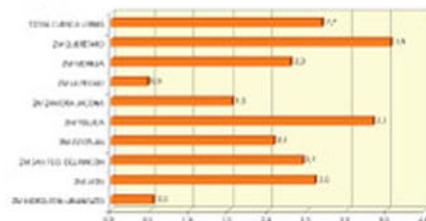


Figura 1 Tasa de crecimiento de la población urbana en la cuenca Lerma-Chapala, 1990-2000. Fuente: Cálculos propios con base en INEGI, 1990-2000.



Figura 2 Tasa de crecimiento poblacional en zonas metropolitanas de la cuenca Lerma-Chapala, 1990-2000. Fuente: SEDESOL, CONAPO y REGI, 2004.



nacional, destacándose el incremento en ciudades de pequeñas y medianas dimensiones (Figura 1). Por otra parte, es particularmente sobresaliente el caso del estado de Guanajuato, que registró una tasa de crecimiento negativa para la población urbana, a pesar de la aparición de una localidad de más de un millón de habitantes, como es la ciudad de León. Para el resto de sus localidades urbanas se evidenció un decremento en la población. Los casos más sobresalientes son los de las localidades de Irapuato, Salamanca y Celaya que en gran parte se explican porque durante los últimos decenios la entidad se ha constituido como expulsora de población migrante tanto a otros centros urbanos interiores como hacia los de la frontera norte.

En segundo lugar, desde la perspectiva del rango-tamaño de las ciudades, se observa una tendencia de crecimiento que favorece por un lado a las ciudades grandes de más de 500 mil habitantes (Querétaro, León, Toluca); y por otra parte, a los centros urbanos pequeños de menos de 50 mil habitantes, sobre todo en los estados de Jalisco, de México y Querétaro, cuyo crecimiento llegó hasta tres veces por arriba de la media nacional (Cuadro 1).

En tercer lugar, se destaca el dinamismo de la expansión metropolitana que guarda estrecha relación con la actividad económica nacional y en particular con la de la cuenca, influenciada a su vez por la cercanía de las principales zonas metropolitanas (ZM) de México: la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y la ZM de Guadalajara (ZMG). Lo anterior ha generado un proceso de expansión física y funcional de las principales ciudades distribuidas a lo largo de importantes vías de comunicación, que juegan un papel fundamental en la conformación de corredores urbano-industriales, pues se constituyen como generadoras de fuentes de empleo y propician la multiplicación de pequeños centros urbanos dentro de la cuenca.

Para el año 2000 se reconocen nueve zonas metropolitanas dentro del límite de la cuenca, equivalentes al 16% del número total de zonas metropolitanas del país (Figura 2). Estas zonas metropolitanas concentraron cerca de cinco millones de habitantes, esto es, el 5% de la población total nacional, y más del 50% del total de la población urbana de toda la cuenca. Las zonas metropolitanas de la cuenca crecen en promedio al mismo ritmo que la población urbana nacional, y han conformado tres principales aglomeraciones de actividad urbana al interior de la cuenca (ver Mapas): primero, una concentración urbana alrededor de la ciudad de Toluca y su conexión con la Ciudad de México; segundo, un corredor urbano que se extiende de la ciudad de Querétaro hacia la ciudad de León pasando por Celaya e Irapuato; y tercero, otro corredor urbano en formación que se extiende de la ciudad de Morelia en dirección de la ZM de Guadalajara, pasando por Zamora y Ocotlán.



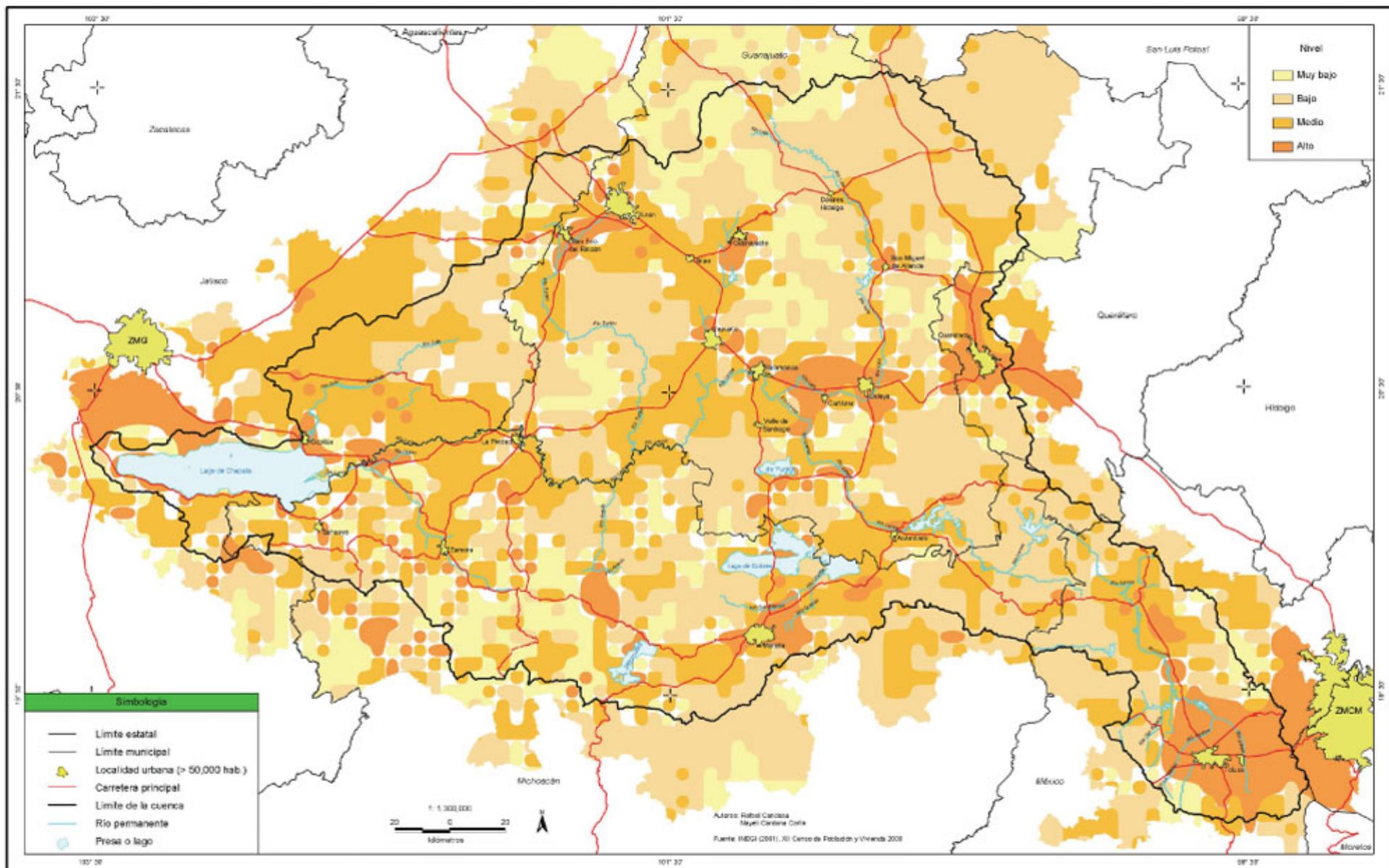
La Piedad, Michoacán.

ENTIDAD	15,000 a 49,999 hab.		50,000 a 100,000 hab.		100,000 a 499,999 hab.		500,000 a 1 millón hab.		Total	
	Población 2000	TC 1990-00	Población 2000	TC 1990-00	Población 2000	TC 1990-00	Población 2000	TC 1990-00	Población 2000	TC 1990-00
Guanajuato	487,136	-5.6	480,039	-6.1	733,898	-10.4			1,701,073	-9.8
Jalisco	228,826	5.8	229,796	2.5					458,622	4.0
Estado de México	251,602	9.9	57,440	-2.4	917,963	4.5	835,053	0.8	2,062,058	3.0
Michoacán	319,163	-1.5	183,384	5.0	348,697	-5.5	549,996		1,401,240	2.4
Querétaro	53,968	8.9					536,463		590,434	3.8

Cuadro 1 Cuenca Lerma-Chapala. Habitantes por tamaño de población, tasa de crecimiento de la población (TC) 1990-2000 por intervalo-tamaño. Fuente: Cálculos propios con base en INEGI 1990 y 2000.



NIVEL SOCIOECONÓMICO, 2000



DESARROLLO SOCIOECONÓMICO

Nayeli Cardona Carlin

lago de Chapala, y a la intensa actividad industrial-comercial de los corredores de Lerma-Toluca-Atlacomulco-Jilotepec y Celaya-Salamanca-Irapuato-León, 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 localidades 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 de la cuenca Lerma-Chapala se encuentran al noreste y al sur de la misma, asociadas a municipios de los estados de Guanajuato y Michoacán. Dentro de esta clasificación hay también varios municipios del estado de México, por ejemplo San Felipe del Progreso y Temascalcingo.

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 total realizando 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, drenaje 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.

ÍNDICE DE MARGINACIÓN

El índice de marginación es una medida-resumen que permite diferenciar entidades y municipios según el impacto global de las carencias que padece



Población con importante presencia de extranjeros. Catalogada de alto nivel socioeconómico. Ajic, municipio de Chapala, Jalisco.

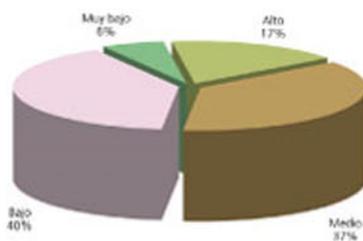


Vivienda representativa de bajo desarrollo socioeconómico, zona rural.

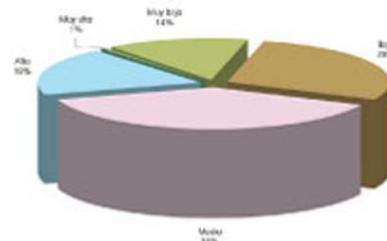
la población como resultado de la falta de acceso a la educación, a viviendas adecuadas, la percepción de ingresos monetarios insuficientes y las relacionadas con la residencia en localidades pequeñas.

Las zonas que presentan un índice bajo y muy bajo de marginación coinciden con los corredores industriales y las áreas urbanas más grandes de la cuenca. Los municipios que presentan un alto grado de marginación están ubicados en los estados de Guanajuato, México y Michoacán, principalmente al este de la cuenca. Solamente el municipio de Villa Victoria en el estado de México presenta un alto grado de marginación.

Porcentaje de localidades por nivel de desarrollo socioeconómico cuenca Lerma-Chapala. Fuente: elaboración propia, Índice de desarrollo socioeconómico, INE, 2003.



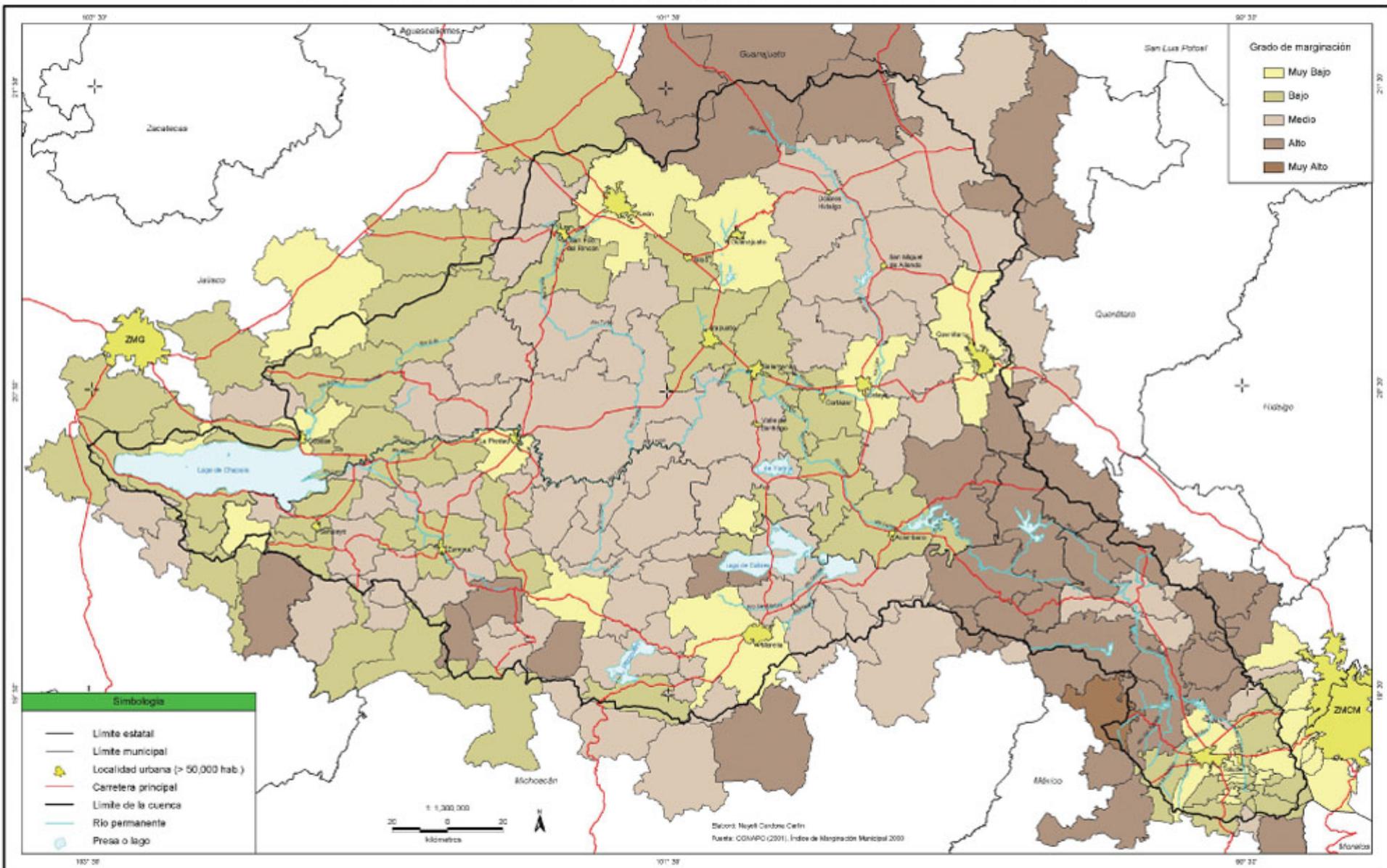
Porcentaje de municipios por índice de marginación cuenca Lerma-Chapala. Fuente: elaboración propia, Índice de marginación, CONAPO, 2001.



EL ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE NIVEL socioeconómico proporciona información importante sobre el comportamiento de la dinámica económica de la cuenca Lerma-Chapala, nos 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 a 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 del

CUENCA LERMA-CHAPALA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA. ÍNDICE DE MARGINACIÓN POR MUNICIPIO, 2000





ÁREA DE INFLUENCIA DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA

Nayeli Cardona Carlin

LA CUENCA LERMA-CHAPALA mantiene patrones de desarrollo industrial y comercial en una extensa red que guarda una conexión importante con el Distrito Federal y Guadalajara. Al reconocer que la realidad socioeconómica de la cuenca tiene que ver con fenómenos o decisiones que se originan más allá de sus límites físicos, se advirtió la necesidad de determinar los límites del estudio socioeconómico para esta región. Lo más favorable hubiera sido una coincidencia completa de los límites económicos y sociales con los límites físicos. No obstante, los partaguas naturales no coinciden con los límites de las dinámicas económicas, sociales, administrativas y políticas de la cuenca. Para encontrar una manera de representar la realidad socioeconómica, un primer paso consistió en elaborar un índice de desarrollo socioeconómico a nivel localidad considerando el nivel de ingresos, educación, servicios y empleo.

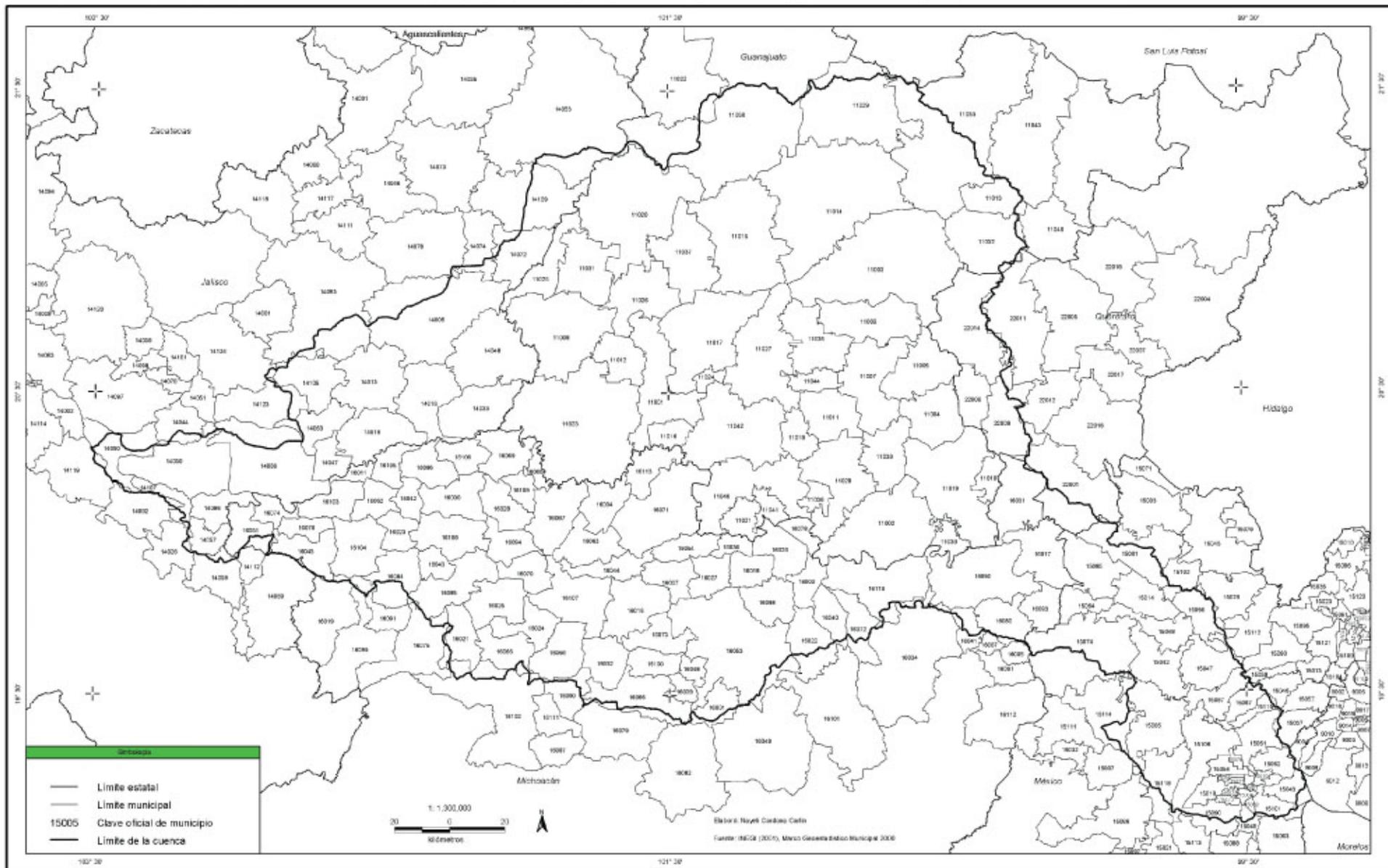
Haciendo uso del Índice de Desarrollo Socioeconómico (mds)¹ y la información de vías de comunicación disponible se obtuvieron unidades homogéneas de desarrollo, las cuales podían presentar un nivel socioeconómico muy bajo, bajo, medio y alto. Dichos polígonos muestran de forma más esquemática las áreas de desarrollo estrechamente relacionadas y aquellas que parecen mantenerse aisladas del desarrollo preponderante en la cuenca. El área de influencia se definió considerando tanto los límites político-administrativos como los polígonos de desarrollo socioeconómico.

Algunas condiciones para incluir o excluir del área de influencia a cada municipio que estaba en el límite del partaguas, o vecino a éste, fueron su pertenencia a un polígono de nivel socioeconómico alto o medio de desarrollo socioeconómico,² poseer superficie dentro de la cuenca y tener un asentamiento humano importante que traspasara el límite físico, entre otros.

¹ Los polígonos de desarrollo socioeconómico de la cuenca se encuentran en la "Cartografía socioeconómica integrada". Véase: "Polígonos de Nivel Socioeconómico General". Fundación Geoware de México a.c., 2003.

² Elaboradas por la Fundación Geoware de México bajo la supervisión de la Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. La cartografía fue elaborada con base en el Índice de Desarrollo Socioeconómico elaborado por Nayeli Cardona Carlin (2003).

MUNICIPIOS DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA



LISTA DE MUNICIPIOS INTEGRANTES DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA

ESTADO	MUNICIPIO	CLAVE	ESTADO	MUNICIPIO	CLAVE	ESTADO	MUNICIPIO	CLAVE	ESTADO	MUNICIPIO	CLAVE	ESTADO	MUNICIPIO	CLAVE
Distrito Federal	Guadalupe A. Madero	1003	Jalisco	San Juan de los Lagos	14073	México	Zumpango	13120	México	Chalco	10023	Michoacán	Tangamianero	14083
Distrito Federal	Acapulco de Guerrero	1002	Jalisco	Mezquitlán	14090	México	Alfaro	13014	México	San Mateo Atenco	10078	Michoacán	Tangamandapto	14094
Distrito Federal	Miguel Alemán	1010	Jalisco	Jalostotlán	14046	México	Chapa de Mota	13026	México	Ocoyoacac	10062	Michoacán	Jiménez	14044
Distrito Federal	Guadalupe	1015	Jalisco	Unión de San Antonio	14009	México	Acapulco	13014	México	Mazapac	10034	Michoacán	Zapotlán	14020
Distrito Federal	Veracruz Carrizosa	1017	Jalisco	Valencia de Guzmán Gallo	14118	México	Huautla	13031	México	Cocotlán	10022	Michoacán	Panpuri	14070
Distrito Federal	Iturbide	1004	Jalisco	Catanda de Obregón	14117	México	Nopaltepec	13001	México	Capulhuac	10019	Michoacán	Copándaro	14018
Distrito Federal	Ermita Juárez	1014	Jalisco	Huastla	14040	México	Mordón	13004	México	Zafra	10043	Michoacán	Álvaro Obregón	14003
Distrito Federal	Abasco Obregón	1010	Jalisco	Villa de Guadalupe	14111	México	Villa del Carbón	13112	México	Trenxtepec	10083	Michoacán	Chalco	14027
Distrito Federal	Cajalutla de Morelos	1004	Jalisco	San Miguel el Alto	14078	México	El Oro	13004	México	Tangamandapto	10015	Michoacán	Zapotlán	14020
Distrito Federal	Itzapalapa	1007	Jalisco	San Julián	14074	México	Guaymas	13023	México	Morelos	10015	Michoacán	Huajuaparamo	14007
Distrito Federal	Coyacán	1003	Jalisco	San Diego de Alejandría	14072	México	Calles	13081	México	Calles	10018	Michoacán	Guajaymas	14019
Distrito Federal	La Magdalena Contreras	1008	Jalisco	Tepehuan de Morelos	14060	México	Toluquahuacán	13081	México	Tenango del Aire	10049	Michoacán	Corinto	14016
Distrito Federal	Tlalcoyotepec	1013	Jalisco	Zapotlán	14120	México	Teotihuacán	13048	México	Chapultepec	10027	Michoacán	Tarímbaro	14088
Distrito Federal	Xochimilco	1017	Jalisco	Amatitlán	14005	México	Tepehuan	13003	México	Atzacapan	10012	Michoacán	Tingitlán	14051
Distrito Federal	Tlalpán	1012	Jalisco	Atzacapan	14008	México	San Martín de las Pirámides	13075	México	San Antonio la Isla	10073	Michoacán	Chilchota	14023
Distrito Federal	Méjico Alta	1009	Jalisco	Azacán	14001	México	Nacabán	13009	México	Almolegas del Río	10006	Michoacán	Tlalpahuacán	14003
Guatemala	San Felipe	10030	Jalisco	El Arroyo	14009	México	Jalisco	13044	México	Rapín	10072	Michoacán	Tlalapahuacán	14040
Guatemala	Ocoyote	10022	Jalisco	Zapotlán	14124	México	Teotihuacán	13092	México	Tenayuca	10045	Michoacán	Hidalgo	14034
Guatemala	San Luis de la Paz	10033	Jalisco	José María	14048	México	San Felipe del Progreso	13074	México	Tenango del Valle	10040	Michoacán	Tucumán	14005
Guatemala	Victoria	10043	Jalisco	Guadalupe	14079	México	Ocotlán	13003	México	Jopitlán	10049	Michoacán	Motlán	14053
Guatemala	San Diego de la Unión	10029	Jalisco	Tala	14083	México	México Ocampo	13003	México	Ocotlán	10048	Michoacán	Queréndaro	14072
Guatemala	Dolores Hidalgo	10044	Jalisco	Tomala	14001	México	Guadalupe	13004	México	Ocotlán	10045	Michoacán	Santiago	14080
Guatemala	León	10020	Jalisco	Asistencia el Alto	14013	México	Guadalupe	13121	México	Tepehuan	10044	Michoacán	Cherán	14024
Guatemala	Guatemala	10015	Jalisco	Tepehuan	14008	México	Iturbide	13042	México	Tenancingo	10048	Michoacán	Los Reyes	14075
Guatemala	Doctor Mora	10013	Jalisco	Teotihuacán	14005	México	Nicolás Romero	13009	México	Donato Guerra	10032	Michoacán	Chicapan	14001
Guatemala	Tierra Blanca	10040	Jalisco	Tepehuan de Zúñiga	14007	México	Tlalpán	13106	México	Amatitlán	10007	Michoacán	Cherán	14022
Guatemala	Silao	10037	Jalisco	Apulcan	14016	México	Jalisco	13044	México	Tenayuca	10046	Michoacán	Imbo	14040
Guatemala	San José Escobedo	10032	Jalisco	San Martín de Hidalgo	14077	México	Teotihuacán	13109	México	Villa Guerrero	10013	Michoacán	Quingó	14073
Guatemala	Parícuta del Rincón	10025	Jalisco	El Salto	14070	México	Acambay	13002	México	Teotihuacán	10047	Michoacán	Nabucodonosor	14056
Guatemala	Abrera	10000	Jalisco	Juarez	14051	México	Juarez	13047	México	Guaymas Hermoso	10021	Michoacán	Pancho	14005
Guatemala	San Francisco del Rincón	10031	Jalisco	Dejuelo	14085	México	Guadalupe de Tejocotal	13000	Michoacán	La Piedad	10049	Michoacán	Agave	14007
Guatemala	Romita	10020	Jalisco	Zapotlán del Rey	14123	México	Teotihuacán	13000	Michoacán	Tanhuato	10036	Michoacán	Ensenada	14032
Guatemala	Salamanca	10027	Jalisco	Guadalupe	14024	México	Tepehuan	13003	Michoacán	Yucumán	10001	Michoacán	Agangitlán	14003
Guatemala	Empress	10017	Jalisco	Villa Corona	14114	México	Tepehuan	13003	Michoacán	Namagan	10040	Michoacán	Tenancingo	14000
Guatemala	Manuel Doblado	10008	Jalisco	Acuña de Juárez	14002	México	Tepehuan	13003	Michoacán	Vista Hermosa	10005	Michoacán	Ocoyote	14001
Guatemala	Comodora	10000	Jalisco	Iturbide de los Mendocinos	14044	México	Chalco	13028	Michoacán	San Juan Vieques	10013	Michoacán	Lagunillas	14048
Guatemala	Santa Cruz de Juventino Rosas	10035	Jalisco	Ocotlán	14003	México	Atzacapan	13013	Michoacán	Espinoza Buena	10031	Michoacán	Uruapan	14006
Guatemala	Abasco	10001	Jalisco	La Barca	14018	México	Atzacapan	13011	Michoacán	Parícuta	10071	Michoacán	Pátzcuaro	14004
Guatemala	Apasco el Grande	10006	Jalisco	Poncitlán	14006	México	Tlalapahuacán	13004	Michoacán	Eracuan	10011	Michoacán	Tlalpahuacán	14000
Guatemala	Guadalupe	10012	Jalisco	Jocotlán	14000	México	Isidro Pabelo	13008	Michoacán	Zapotlán	10019	Michoacán	Hidalgo	14009
Guatemala	Celaya	10007	Jalisco	Chapala	14030	México	Populanda	13049	Michoacán	Ensenada	10030	Michoacán	Acuña	14001
Guatemala	Progreso	10023	Jalisco	Zapotlán de Tizma	14119	México	Chalco	13000	Michoacán	Agangitlán	10004	Michoacán	Zapotlán	14001
Guatemala	Pueblo Nuevo	10044	Jalisco	Jamay	14047	México	Tenocac	13009	Michoacán	Cherán	10028	Michoacán	Silvado Escobedo	14079
Guatemala	Villagón	10044	Jalisco	Tuxtepec	14057	México	Tenocac	13009	Michoacán	León	10042	Michoacán	Salvador Escobedo	14082
Guatemala	Apasco el Alto	10004	Jalisco	Teocuitlán de Guzmán	14002	México	Tlalapahuacán	13104	Michoacán	Panpuri	10047	Michoacán	Tarímbaro	14087
Guatemala	Villa de Santiago	10042	Jalisco	Jilotepec	14096	México	Jilotepec	13046	Michoacán	Panpuri	10042	Michoacán	Madero	14049
Guatemala	Cruzamá	10011	Jalisco	Triángulo del Alto	14057	México	Villa Victoria	13114	Michoacán	Veracruz Carrizosa	10010	Michoacán	Tarímbaro	14001
Guatemala	San José del Progreso	10018	Jalisco	La Manzanilla de La Paz	14007	México	Álvaro Obregón	13003	Michoacán	Guerra de Rápidos	10074	Michoacán	Zapotlán	14001
Guatemala	Tehuacán	10019	Jalisco	Coyotepec de Bienes Años	14009	México	Namagan de Juárez	13007	Michoacán	Marcos Castellanos	10041	Quintana Roo	Tulum	22018
Guatemala	Huamantla	10010	Jalisco	Villa de Juárez	14112	México	Ocotlán	13007	Michoacán	Chalco	10023	Quintana Roo	Calucya de Motva	22004
Guatemala	Zecacoaco	10019	Jalisco	Quitupan	14049	México	Nicolás Romero	13009	Michoacán	Zamora	10018	Quintana Roo	El Margatec	22011
Guatemala	Salamanca	10028	México	Arriaga	15017	México	Xonacatlán	13115	Michoacán	Parícuta	10043	Quintana Roo	Cobá	22005
Guatemala	Cruzamá	10011	México	Palmitlán	15071	México	Villa de Ahuac	13101	Michoacán	Villar	10014	Quintana Roo	Quintana	22014
Guatemala	Yucatán	10040	México	Arado	15003	México	Chalco	13000	Michoacán	Tanhuato	10044	Quintana Roo	Escopido Madero	22007
Guatemala	Acámbaro	10002	México	Jilotepec	15045	México	Chalco	13000	Michoacán	Cuicatlan	10020	Quintana Roo	Tapanahuacán	22017
Guatemala	Santiago Maravilla	10019	México	Sancti Spiritus de Juárez	15079	México	Chalco	13000	Michoacán	Coyotepec	10017	Quintana Roo	Cancún	22006
Guatemala	Uxmal	10041	México	Aramber	15001	México	Itzapalapa	13009	Michoacán	Salamanca	10076	Quintana Roo	Pueblo Escobedo	22012
Guatemala	Minicán	10021	México	Huayacinta	15000	México	Huayacinta	13007	Michoacán	Santa Ana Maya	10078	Quintana Roo	San Juan del Río	22016
Guatemala	Tamalcayán	10018	México	Agasco	15019	México	Lerma	13001	Michoacán	Jopitlán	10045	Quintana Roo	Huixtla	22008
Jalisco	Laguna de Manero	14033	México	Tenancingo	13065	México	La Paz	13070	Michoacán	Mordón	10034	Quintana Roo	Amecán de Bonfil	22001
Jalisco	Encarnación de Díaz	14031	México	Toluquahuacán	13002	México	Tlalpahuacán	13100	Michoacán	Huautla	10036			
Jalisco	Tecolotepec	14031	México	Tepehuan	13004	México	Villa de Chalco Solidaridad	13122	Michoacán	Murumbío	10030			
Jalisco	Tepic	14034	México	Tenancingo	13064	México	Zapotlán	13118	Michoacán	Juana	10043			

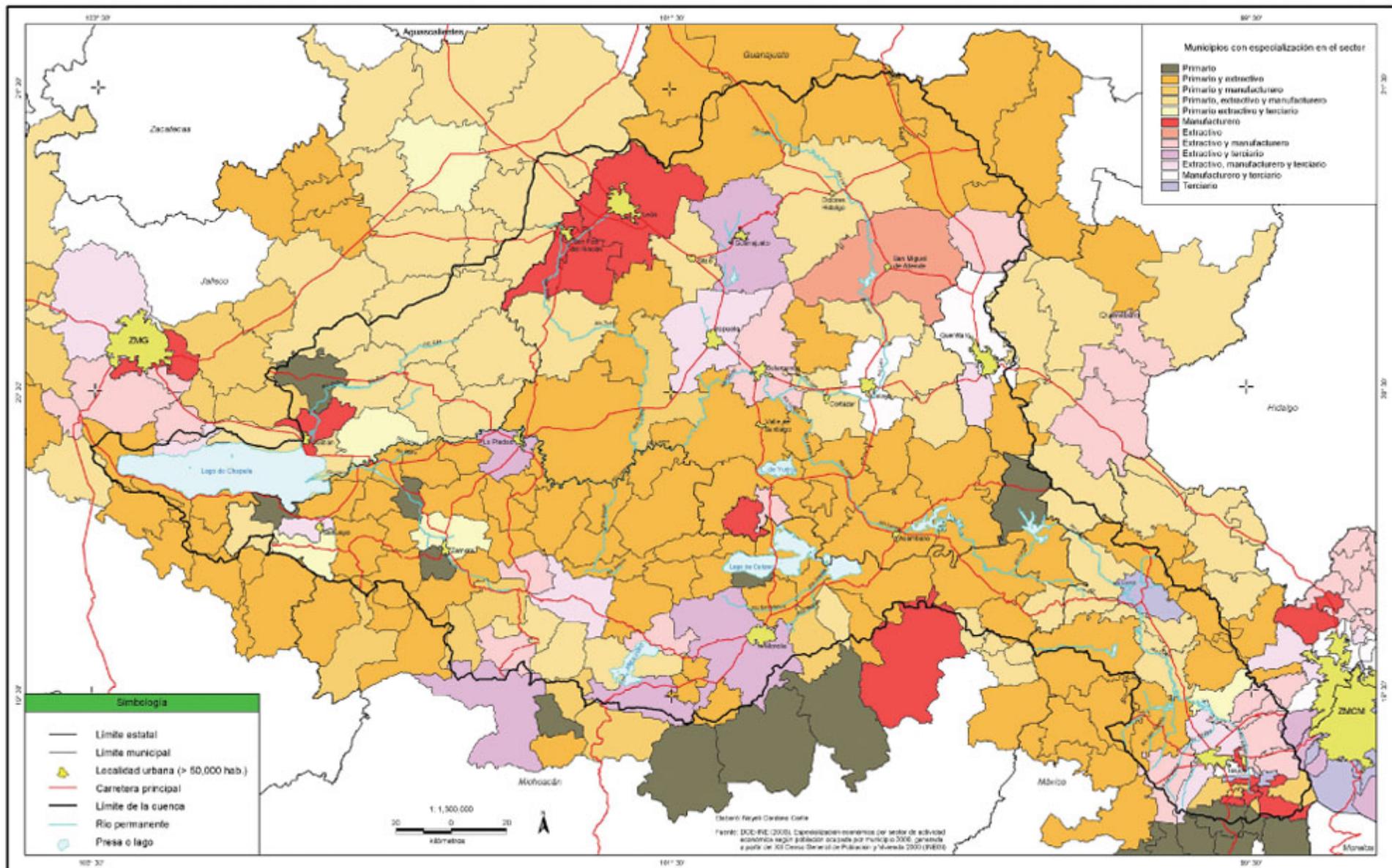
◆ - municipios del área de influencia
 ◆ - municipios de la cuenca.

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

HISTÓRICAMENTE, LA CUENCA LERMA-CHAPALA se ha caracterizado por constituir una importante zona de asentamiento humano y actividad agrícola, importancia ya evidente desde la época prehispánica (Boehm, 2002; Velásquez *et al.*, 2002). Más adelante, durante la época colonial, se aprovechó su localización estratégica como centro de abastecimiento de cereales para la región norte del país. Sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo XX, se produjo un punto de quiebre importante en el equilibrio ambiental pues el modelo de desarrollo aplicado dio a la región un impulso económico sin precedentes, mismo que desencadenó el acelerado desarrollo de una red de ciudades, el aumento constante de la densidad demográfica, la consolidación de un corredor industrial y el impulso de actividades agrícolas intensivas. Durante estas últimas décadas, las actividades productivas en la cuenca se han diversificado, aprovechando parte del potencial de sus recursos. En este capítulo se mencionan algunas de las actividades productivas más importantes, relacionadas con la apropiación de los recursos naturales, con especial énfasis en el recurso hídrico.



CUENCA LERMA-CHAPALA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA. ESPECIALIZACIÓN ECONÓMICA POR SECTOR DE ACTIVIDAD SEGÚN POBLACIÓN OCUPADA



DINÁMICA ECONÓMICA

Nayeli Cardona Carlin

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.

ESPECIALIZACIÓN DE LA POBLACIÓN

Un importante porcentaje de la fuerza de trabajo activa en la cuenca Lerma-Chapala destina sus esfuerzos al desarrollo del sector servicios, principalmente concentrado en las zonas urbanas. El sector manufacturero, por el porcentaje de empleos que ofrece, ocupa el segundo lugar en importancia, con más del 22% de la población ocupada.

En cuanto a la especialización de la población ocupada, el 31% de los municipios se especializa en actividades primarias y extractivas. La cuenca cuenta con sólo 5% de sus municipios especializados en la actividad manufacturera, pero si se consideran las categorías donde se combinan los sectores primarios, extractivos y manufactureros más de la tercera parte del total de los municipios conforman su dinámica económica. Los municipios con especialización en actividades terciarias conforman el 5% del total; aquellos donde se comparte la especialidad en el sector terciario con otros sectores alcanzan el 16%.

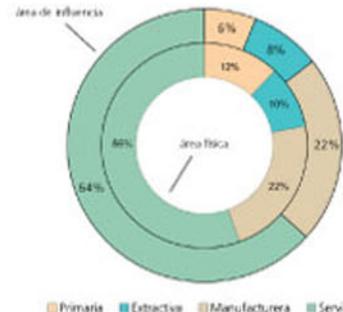
En general todos los estados de la cuenca Lerma-Chapala y su área de influencia sobresalen en el número de personas ocupadas en el sector servicios,

por encima del promedio nacional, aunque, en Michoacán, los municipios mantienen un mayor porcentaje de especialización en actividades agropecuarias.

Los municipios especializados en actividad manufacturera se encuentran concentrados en el estado de México, y son cercanos al Distrito Federal, entre éstos podemos contar a Naucalpan de Juárez, Tlalnepantla de Baz, Ecatepec de Morelos, Cuautitlán Izcalli, Chimalhuacán, Toluca y Lerma. Este corredor continúa en el estado de Querétaro con los municipios de Querétaro, San Juan del Río, Corregidora, Tequisquiapan, El Marqués y Pedro Escobedo principalmente. En Guanajuato se mantiene este sector de especialización primordialmente en los municipios de León, Irapuato, Celaya, San Francisco del Rincón, Salamanca, Silao, Purísima del Rincón, Dolores Hidalgo y Moroleón. En Jalisco es importante mencionar municipios aledaños a la Zona Metropolitana de Guadalajara como Tlajomulco de Zúñiga y Arandas, entre otros.

ESPECIALIZACIÓN POR VALOR DE LA PRODUCCIÓN

El Valor Agregado Censal Bruto (VACB) es una de las variables de análisis regional que resulta de restar a la producción el importe de los insumos totales. Los municipios que integran el área de influencia de la cuenca Lerma-Chapala representan el 47% del VACB nacional; lo que muestra la importancia económica de la región y de los municipios que la integran, algunos de los cuales poseen una actividad económica significativa no sólo a nivel regional sino nacional. Sin embargo, es importante considerar que existen grandes diferencias en el tamaño de la economía de los municipios integrantes de la cuenca y su área de influencia. Por ejemplo Naucalpan de Juárez aporta casi el 40% del VACB total del estado de México, seguido por Toluca con un 22% y con tasas de crecimiento anual del VACB del 7%. En cambio encontramos varios municipios como Victoria y Tierra Blanca en Guanajuato; Quitupan en Jalisco; Huiramba y Chucándiro en Michoacán e Isidro Fabela y Timilipán en el estado de México cuya



Población ocupada por sector de actividad cuenca Lerma-Chapala. Fuente: elaboración propia. Datos: Censo Económico, INEGI, 1999.



Valor Agregado Censal Bruto de los municipios por estado de la cuenca Lerma-Chapala.



Valor Agregado Censal Bruto por sector de actividad en la cuenca Lerma-Chapala. Municipios del área de influencia. Fuente: Elaboración propia. Datos: Censo Económico, INEGI, 1999.



Estado	Municipio	% VACB total de la cuenca que aporta cada municipio
México	Naucalpan de Juárez	13
México	Toluca	12
Querétaro	Querétaro	11
Guanajuato	León	10
Guanajuato	Silao	8
Guanajuato	Celaya	4
Michoacán	Morélia	3

Municipios con mayor participación en el VACB de la cuenca. Fuente: Elaboración propia. Censos Económicos 1999, etc.

participación en la economía de la cuenca es poco significativa, entre ellos suman menos del 0.01 % del VACB.

Considerando la totalidad del área de influencia de la cuenca Lerma-Chapala, las demarcaciones que aportan mayor valor agregado son las delegaciones Cuauhtémoc y Miguel Hidalgo en el DF y los municipios de Guadalajara en Jalisco y Tlalnepantla de

Baz en el estado de México. En general, se presenta una gran concentración del ingreso, tan solo 20 municipios representan más del 70 % del valor agregado total del área de influencia, concentrándose principalmente en las delegaciones del Distrito Federal y en el área conurbana de Guadalajara. Estas dos concentraciones demográficas son también centros de concentración económica lo que implica que una parte importante de la actividad económica que se realiza en la cuenca guarda relación de estos dos centros productivos.

Haciendo el análisis de los sectores generadores de valor se observa que el mayor porcentaje corresponde a la industria manufacturera. En el área de influencia de la cuenca se origina más de la mitad del valor total de este sector.

El comercio y los servicios son los siguientes en importancia; a nivel nacional, la cuenca representa más del 50 % del valor agregado de los mismos. Estas actividades se desarrollan a lo largo de la totalidad del territorio de la cuenca, pero en valor se encuentran concentradas en las grandes zonas urbanas.

En cuanto al número de municipios especializados por el valor de su producción, la actividad comercial y de servicios adquiere gran importancia al representar conjuntamente más del 55 % de los municipios integrantes del área de influencia de la cuenca Lerma-Chapala.

El corredor industrial y la ribera norte del lago de Chapala concentran la mayoría de los municipios donde el valor del sector manufacturero es preponderante. Por otro lado, la extracción minera aún se mantiene como la más importante en el municipio de Guanajuato. Los sectores servicios y comercio son prioritarios en el desarrollo de la cuenca, ya que para muchos municipios significan la principal fuente de ingresos de su población.

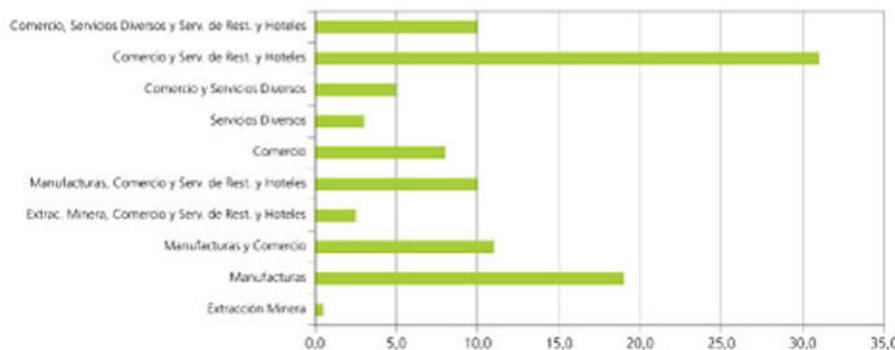
Los municipios de Guanajuato, Jalisco, estado de México y Querétaro que integran la cuenca y su área de influencia tienen mayor porcentaje de su valor agregado en la industria manufacturera que el promedio nacional, mientras que los municipios de Michoacán tienen un porcentaje considerablemente mayor que el promedio del país en el sector comercio.

La cuenca Lerma-Chapala es una zona de gran importancia para México, pues posee una gran diversidad de actividades económicas, entre las que resalta su actividad manufacturera y comercial. Aún cuando las mismas crean importantes beneficios económicos, las externalidades que generan han comprometido la sustentabilidad de la dinámica ambiental, y por lo tanto la disponibilidad, en cantidad y calidad, de recursos que garantizan el desarrollo social y económico en el largo plazo. La identificación de zonas de especialización en la cuenca nos permite conocer la distribución y características de los sectores dominantes de la dinámica económica, así como los efectos regionales de la concentración de capital humano y financiero, lo cual es de vital importancia para evaluar las necesidades de ciertos servicios, como agua y energía, y las externalidades originadas por estas actividades, como los residuos sólidos y las aguas residuales.

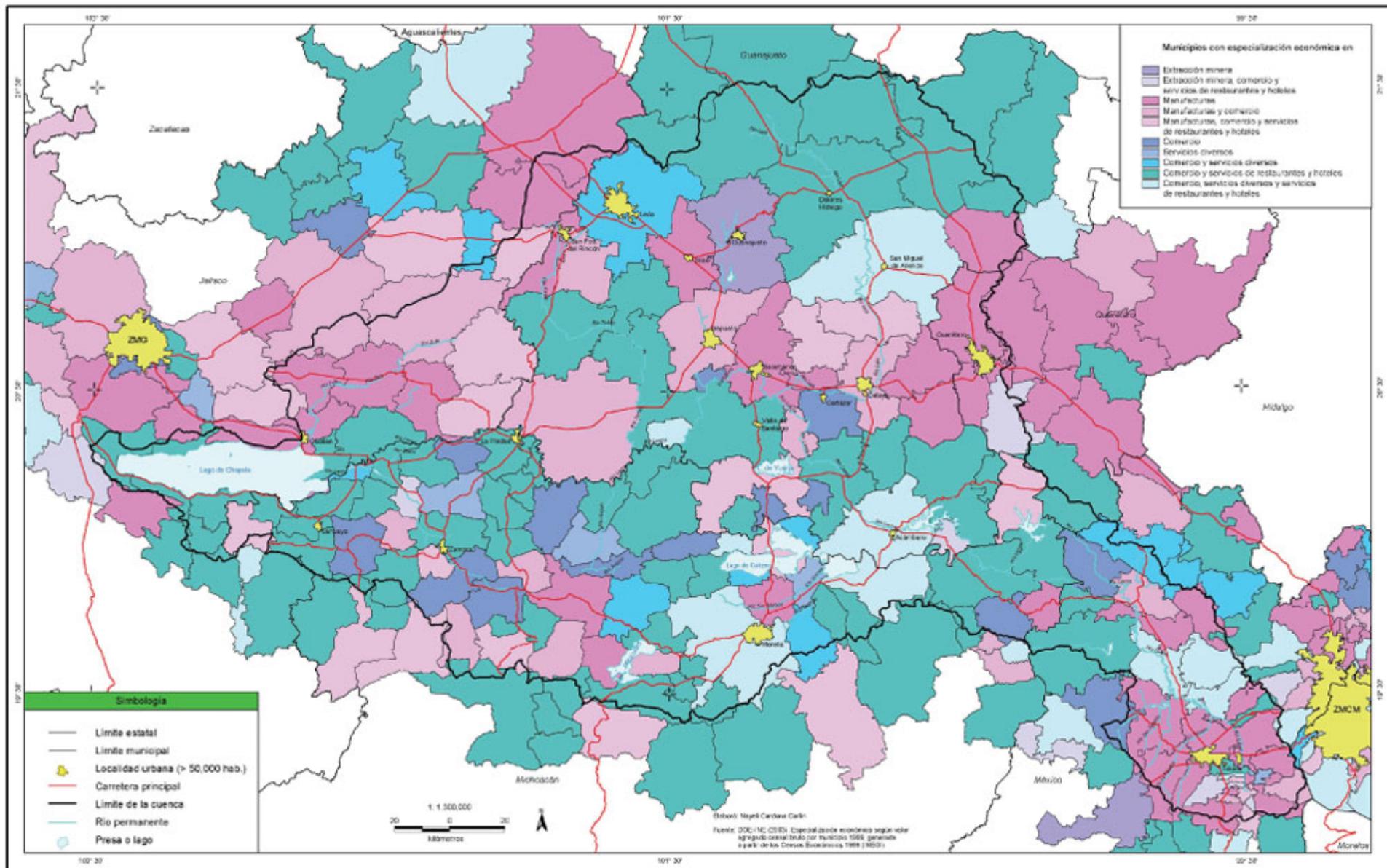
Ganado bebiendo en la ribera noroeste del lago de Chapala



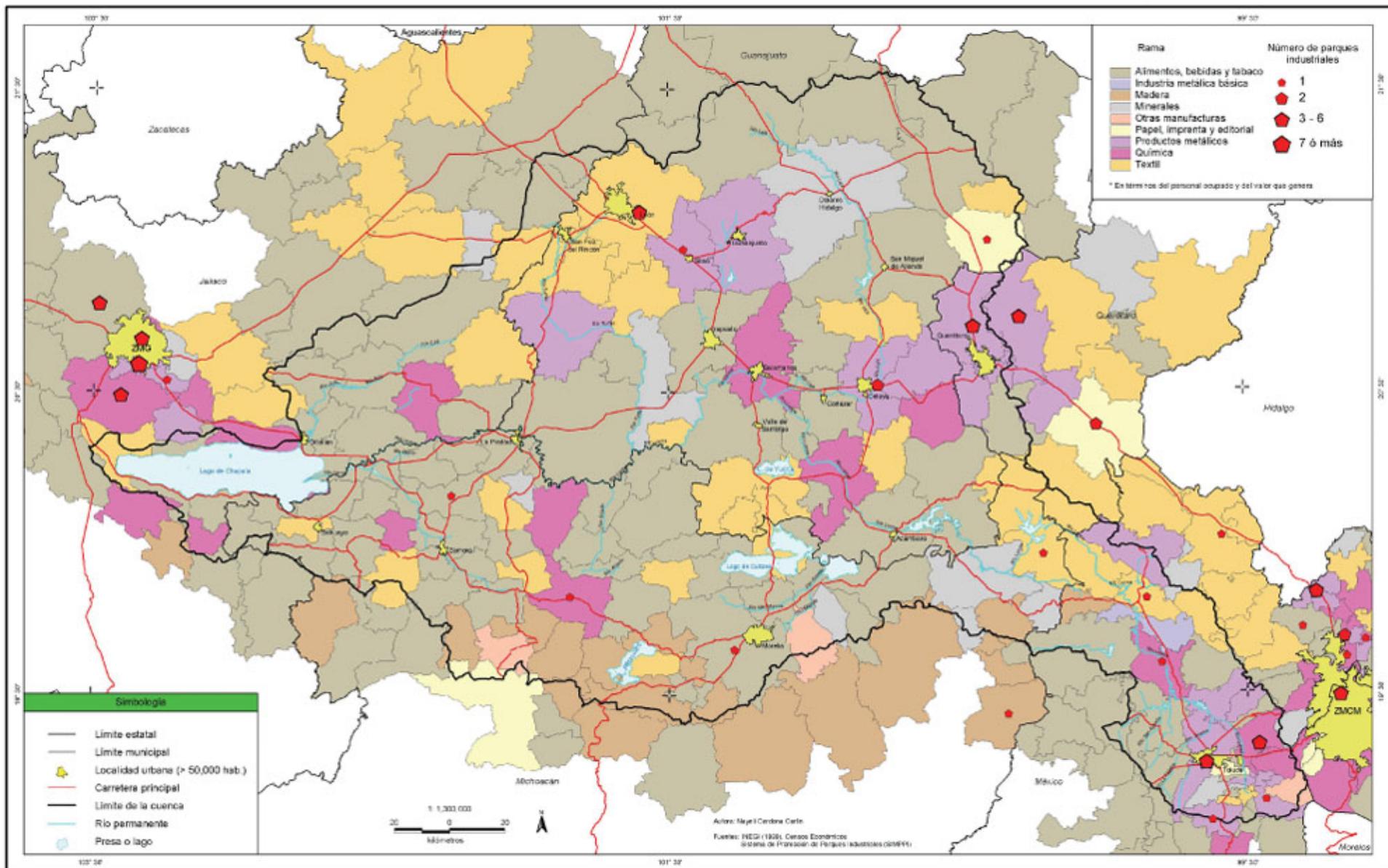
Porcentaje de municipios especializados por Valor Agregado Censal Bruto cuenca Lerma-Chapala.



CUENCA LERMA-CHAPALA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA. ESPECIALIZACIÓN ECONÓMICA SEGÚN VALOR AGREGADO CENSAL BRUTO



CUENCA LERMA-CHAPALA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA. RAMA DE ACTIVIDAD INDUSTRIAL PREDOMINANTE* POR MUNICIPIO, 1998



ACTIVIDAD INDUSTRIAL

Nayeli Cardona Carlin

LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES constituyen fuentes dinamizadoras del crecimiento económico, en tanto brindan bienes de consumo y representan una importante fuente de empleo, al tiempo que demandan productos y servicios de otras actividades. La cuenca Lerma-Chapala posee

un dinámico sector industrial desde la primera mitad del siglo XX. Es innegable que la expansión de este sector dentro de la cuenca ha estado relacionada al desarrollo de las dos zonas metropolitanas más importantes del país: la Ciudad de México y Guadalajara, que han propiciado la presencia de la infraestructura necesaria para el crecimiento de la industria.

Dentro del área de influencia de la cuenca Lerma-

Chapala se genera el 47% del valor agregado censal bruto (vabr) del país. La industria manufacturera aporta el mayor valor agregado a la dinámica económica de la cuenca (cerca a un 40%). Esto resulta lógico al considerar la importancia nacional e internacional de las industrias asentadas en el corredor industrial que comprende diversas franjas, desde los reconocidos parques industriales de Lerma-Toluca-Atlacomulco, el corredor San Juan del Río-El Márquez-Querétaro y los conglomerados industriales de Celaya-Salamanca-Irapuato-León.

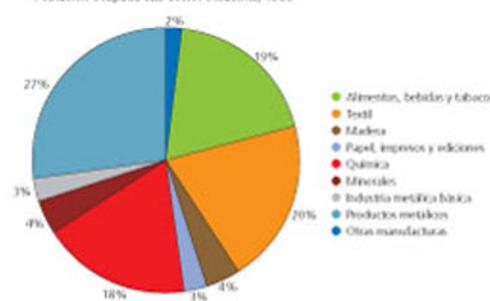
El promedio nacional del valor agregado originado por el sector industrial es del 37%. Los municipios de Guanajuato (52%), Jalisco (47%), estado de México (61%) y Querétaro (66%) que integran la cuenca y su área de influencia, tienen un porcentaje considerablemente mayor al promedio nacional de valor agregado originado por este sector.

Los subsectores industriales más importantes en la cuenca Lerma-Chapala son los productos metálicos (28% del valor) y los alimentos, bebidas y tabaco (23% del valor). Hasta 1989, la industria química era la que más aportaba al desarrollo del sector, seguida por la manufactura de productos metálicos; en ese momento la industria alimenticia representaba solamente 19% del sector. Para 1994 el subsector alimentos, bebidas y tabacos se posicionó como el más importante, mientras que la industria química descendió su participación al

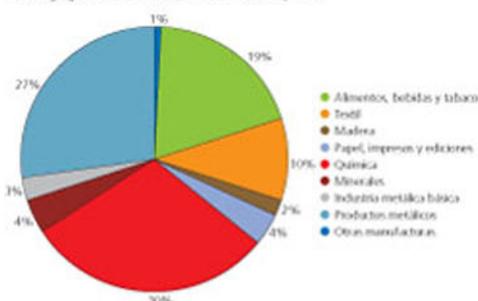


Refinería en las inmediaciones de Salamanca

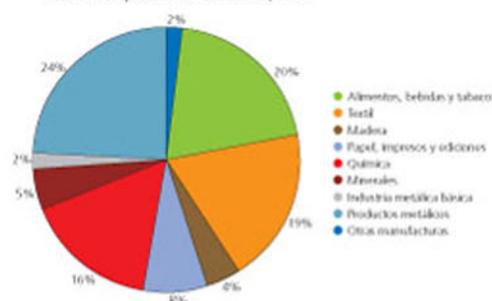
Población ocupada sub-sector industrial, 1989



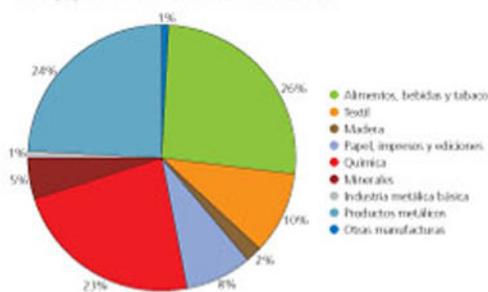
Valor agregado censal bruto sub-sector industrial, 1989



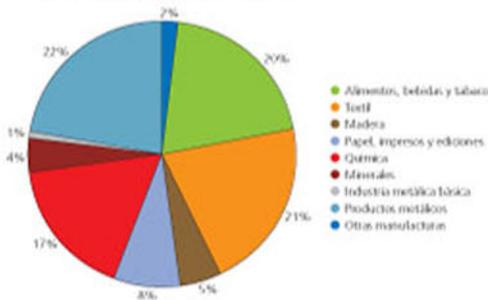
Población ocupada sub-sector industrial, 1994



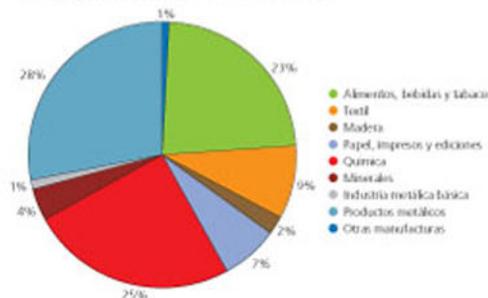
Valor agregado censal bruto sub-sector industrial, 1994



Población ocupada sub-sector industrial, 1999



Valor agregado censal bruto sub-sector industrial, 1999



23% y la de productos metálicos al 24% del VABG en la cuenca. De acuerdo a los datos del censo económico más reciente, podemos observar que los tres subsectores principales han equilibrado su participación, manteniendo su preponderancia sobre el resto de los subsectores.

POBLACIÓN OCUPADA¹ EN EL SECTOR INDUSTRIAL

El sector secundario ocupa el segundo lugar en personal empleado en la cuenca. El cinco por ciento de los municipios tienen especializada su población exclusivamente en la actividad manufacturera.

Considerando aquellas categorías donde la población ocupada por municipio combina actividades primarias, extractivas y manufacturera, estos municipios representan más de la tercera parte de la cuenca.

En general, podemos hablar de un crecimiento del empleo en la industria ubicada en la cuenca. El subsector que más población ocupa es el de productos metálicos, mismo que ha mantenido un crecimiento constante desde 1989. La industria textil le sigue en personas empleadas, en especial este sector ha mostrado un acelerado crecimiento a partir de 1994. La industria de alimentos, bebidas y tabacos es el tercer subsector en cuanto a empleo se refiere, al igual que la química, esta industria ha incrementado considerablemente el personal que ocupa, con tasas crecientes de contratación.

En contraste, el resto de las ramas industriales presentan bajos niveles de empleo. Algunas muestran un decrecimiento significativo en el personal con-

tratado; éste es el caso de la industria metálica básica que ha disminuido su planta laboral en casi 50% entre 1994 y 1999. La industria del papel e impresión había aumentado significativamente su capacidad de empleo entre 1989 y 1994, sin embargo, el último censo reporta un estancamiento en su fuerza laboral.

SECTOR EXPORTADOR

La cuenca representa el 53% de las exportaciones manufactureras del país. En 2003 esta industria aportaba 143,000 millones de dólares en divisas.

Cuatro de los doce principales municipios exportadores del país se encuentran en el área de influencia de la cuenca Lerma-Chapala. Desde 1982, con la eliminación de subsidios a los granos básicos (crédito, insumos, energía, precios de garantía) y la apertura comercial, se ha intensificado el desarrollo de las ramas industriales asociadas a productos agrícolas de exportación de alto valor.

En el Bajío esta nueva realidad económica resultó en un fuerte crecimiento de la producción y exportación de hortalizas congeladas.

El asentamiento de los complejos industriales en el territorio de la cuenca ha marcado la dinámica económica de la misma, la distribución de la población productiva y los cambios en el entorno natural. Vigilar el cumplimiento de la legislación, reglamentación y normatividad ambientales, aplicables a establecimientos industriales, de servicio y comerciales, es vital para la minimizar la huella ambiental de este sector y asegurar el desarrollo sustentable de la cuenca en el largo plazo.

¹ El personal ocupado comprende a todas las personas (empleados y obreros de planta y eventuales) que durante el año trabajaron en el establecimiento industrial o fijos de él, siempre que hayan sido dirigidos o controlados por éste y recibido una remuneración fija y periódica.

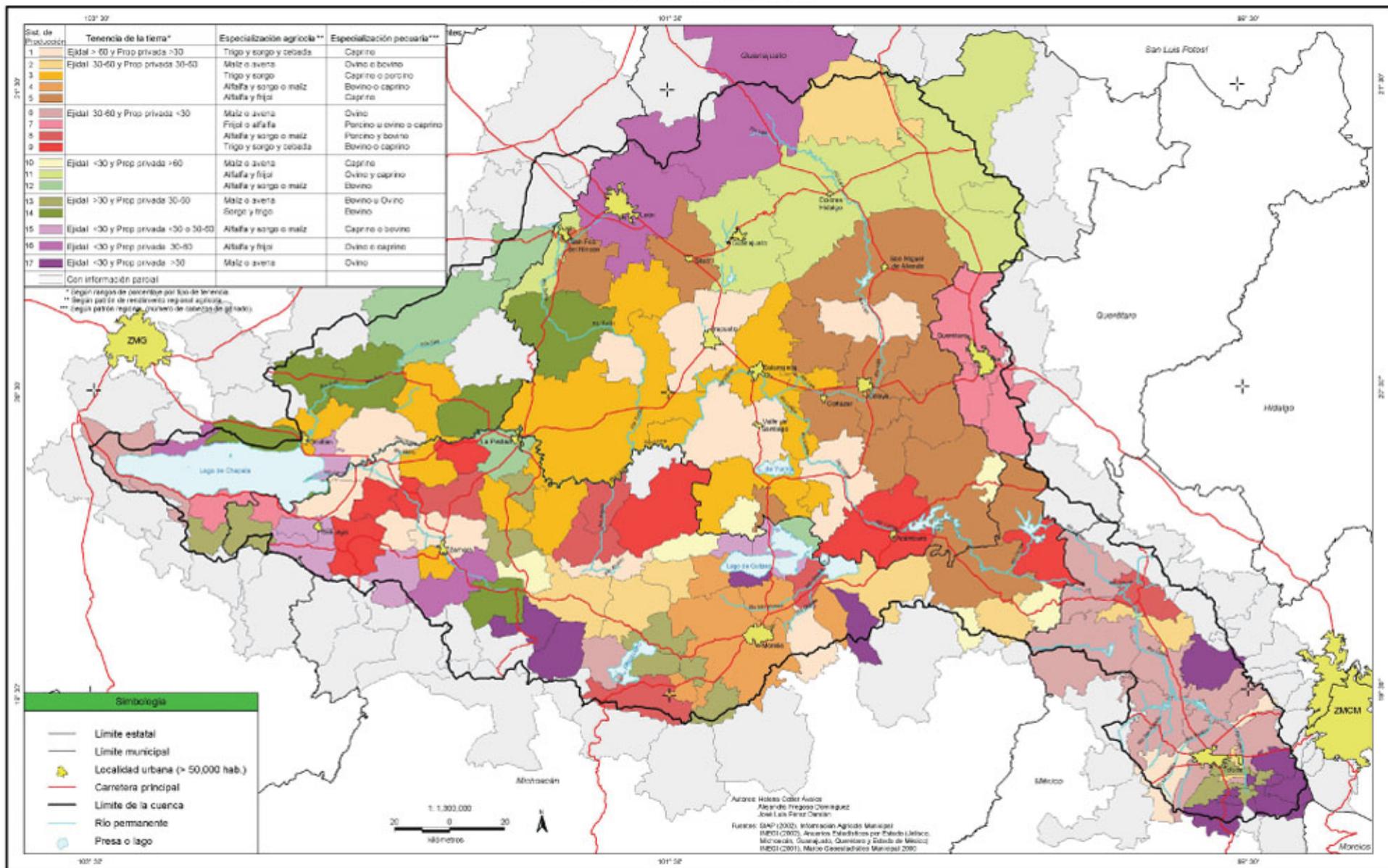


FOTOGRAFÍA: MEXICO

FOTOGRAFÍA: MEXICO



SISTEMAS DE PRODUCCIÓN



SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Helena Cotler Ávalos
y Alejandra Fregoso Domínguez

LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN agropecuarias se definen como el conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas y pecuarios (Jouve, 1988). Estos sistemas, complejos y dinámicos, están fuertemente influenciados por el medio rural externo, incluyendo mercado, infraestructura y programas, por lo que facilitan la evaluación *ex ante* de inversiones y políticas concernientes con la población rural (Dixon *et al.*, 2001). En la cuenca Lerma-Chapala, la instalación del corredor industrial y la construcción de importantes obras hidráulicas, desde mediados del siglo XX, dieron un nuevo impulso a la actividad agropecuaria. Recientemente, durante el año agrícola 2002, la superficie agrícola total ocupó 23,169 km², equivalente a un 43% de la superficie de la cuenca a través de la producción de 148 diferentes cultivos (granos, hortalizas y frutales principalmente). Sin embargo, sólo siete cultivos cubrieron el 85% de la superficie agrícola neta de la región. Entre ellos, dos cultivos (maíz y sorgo) ocupan el 65% de la superfi-

cie agrícola. En el caso del cultivo de maíz, éste es el cultivo de mayor importancia por superficie sembrada, tanto en las zonas de riego agrícola (2,155.23 km²), como en las de temporal (9,295.72 km²). Sin embargo, el rendimiento de este cultivo fluctúa de bajo a muy bajo, respecto al promedio regional, en los estados de Guanajuato, Michoacán y Querétaro. Para el caso del sorgo, los rendimientos también son bajos a muy bajos en los estados de México, Jalisco y Michoacán.

En general, el bajo rendimiento de varios cultivos en los cinco estados y su tendencia temporal (Mollard *et al.*, 2005) exigen la necesidad de analizar y reflexionar sobre el costo-beneficio socioambiental del uso del territorio, considerando particularmente el deterioro ambiental que originan las prácticas inadecuadas de los sistemas agrícolas, las externalidades negativas provenientes del uso de insumos agroquímicos y el impacto de la construcción de 281 presas (50.9% del total) con propósito de riego en la cuenca (ver el capítulo *Presas y bordos* y el capítulo referente a *Plaguicidas* en esta misma obra).

En este punto es importante resaltar el papel del agua, su cantidad, calidad y flexibilidad en la distribución, para la definición de los cultivos. El desarrollo de la agricultura en la cuenca está asociada a la construcción de obras hidráulicas para el riego. Hoy en día, la cuenca presenta ocho Distritos de Riego (DR) y 16,000 Unidades de Riego (UR). La creación, organización y gestión de estas unidades está ampliamente discutida por Vargas y Mollard (2005). Sin embargo, la distribución del agua no es homogénea a lo largo de la cuenca, siendo los estados de México y Jalisco los de menor superficie irrigada. Vale la pena recalcar que debido a la escala de estudio y a la entidad administrativa de análisis, no pudieron representarse algunos sistemas agrícolas particulares por sus requerimientos de agua (calidad y flexibilidad), tecnología, conocimiento y altos ingresos, como las hortalizas, aunque es conocido el DR 045 por sus producciones de hortalizas y flores con altas láminas de agua relacionadas con algunas agroindustrias del estado de Michoacán. Además, según el INEGI, el Bajío es uno de los principales pro-



Agricultura mecanizada en el Bajío guanajuatense



Vista aérea de las parcelas de cultivo a lo largo del río Lerma, el cual se encuentra canalizado y sin ecosistemas ribereños en sus márgenes.

ductores de hortalizas para exportación (espárrago, brócoli, coliflor) y para mercado doméstico (papas, cebollas y chiles).

El tipo de ganado presente en la cuenca Lerma-Chapala es principalmente bovino y porcino. La presencia de éste último se encuentra en estrecha relación con el cultivo de sorgo, el cual le sirve de alimento. En ese sentido, Mollard *et al.* (2005) adelantan que es posible que la aparición del sorgo haya aumentado la especialización porcina. El ganado bovino es principalmente no estabulado, lo cual además de ocasionar problemas de sobrepastoreo, compactación de suelos —lo cual puede incentivar la formación de cárcavas— también genera problemas de contaminación difusa.

La tenencia de la tierra es muy variable y heterogénea a lo largo de la cuenca, aunque puede observarse un patrón de dominancia de propiedad privada en el norte de la cuenca, mientras que al sureste y oeste domina la propiedad ejidal.

Mediante el uso de índices de especialización (Cotler *et al.*, 2006) se caracterizó cada municipio de acuerdo con su especialización agrícola (cultivo y rendimiento), pecuaria (clase de ganado y número de cabezas) y de tenencia de la tierra, respecto al promedio regional. Como resultado, en la cuenca

se pueden agrupar 17 principales sistemas de producción, bajo ocho clases. Los grupos de mayor distribución son aquellos cuya tenencia de la tierra es mixta (ejidal y privada), la producción agrícola puede incluir los siete cultivos principales y la ganadería es especialmente caprina y bovina.

La caracterización de los sistemas de producción a escala regional permite tener una perspectiva espacial integral del uso del territorio, de sus recursos (suelo, agua y vegetación), del manejo actual y por ende de las posibles externalidades para la cuenca.

La dominancia de monocultivos, acentuada por el uso de variedades mejoradas, sugiere el desplazamiento de variedades locales, lo cual incrementa la vulnerabilidad ambiental, agrícola, social y económica de la cuenca. Sobre este tema se requiere aún de estudios de agrobiodiversidad a mayor profundidad para determinar la situación de deterioro y vulnerabilidad de la misma.

Los bajos rendimientos, los impactos negativos de agroquímicos, la declinación de la fertilidad, los problemas de erosión, así como problemas de contaminación difusa sugieren a su vez la necesidad de un replanteamiento de las actividades agropecuarias, así como de los programas de políticas públicas que fomentan y sustentan esta actividad.

USO DE PLAGUICIDAS

Maria Guadalupe Ramos Espinosa, Juana Pérez Mérida y Aidalee García Cobos

LOS PLAGUICIDAS O AGROQUÍMICOS son los nombres genéricos que recibe cualquier sustancia o mezcla de sustancias que son usadas para controlar plagas de insectos u otros organismos que atacan a los cultivos o que son vectores de enfermedades. Para combatir plagas se aplican insecticidas, nematocidas, acaricidas, aracnicidas, rodenticidas y moluscicidas; para el control de enfermedades se usan fungicidas, bactericidas y micoplasmicidas, y para el control de malezas herbicidas, alguicidas y defoliantes.

De igual forma se incluyen productos que ayudan en el manejo o nutrición de cultivos, tales como fitoreguladores y fertilizantes.

Por su estructura química los plaguicidas se agrupan en organoclorados, organofosforados, organomercuriales, carbámicos, ditiocarbámicos, triazínicos, fenoxiacéticos, bipiridílicos, ftalimídicos, sulfonamidas, benzimidazoles, piretroides, derivados del dinitrofenol, y derivados de la urea. De acuerdo a su modo de acción pueden ser sistémicos y de contacto, y de acuerdo a su especificidad, selectivos y no selectivos (Albert y Benítez, 2005).

En general, los plaguicidas han generado gran preocupación debido a la alta toxicidad o capacidad de producir alteraciones sobre los organismos vivos, a la elevada bioacumulación, es decir su presencia en los tejidos vivos y a su persistencia en el ambiente, ya que esto aumenta la posibilidad de que se movilicen e interactúen con los organismos vivos antes de degradarse.

A lo largo de la cuenta se tiene identificado el uso de los agroquímicos que aparecen en los siguientes diagramas.

La toxicidad de los plaguicidas sobre la biota tanto terrestre como acuática depende de muchos factores, por ejemplo la especie, ya que unas son sensibles a ciertos compuestos y resistentes a otros; de su estado de desarrollo, ya que algunos plaguicidas tienen mayor efecto en etapas juveniles y otros en etapas maduras, aunque en exposiciones prolongadas así como a elevadas temperaturas, las respuestas pueden ser diferentes (Rodríguez *et al.*, 1992).

En los ambientes acuáticos los fungicidas son los que más se absorben a los sedimentos y no son solubles, de manera que los macroinvertebrados asociados a sedimentos se ven afectados y van desapareciendo los más sensibles; por ende la diversidad disminuye. Por el tipo de producto, también se afectan los hongos descomponedores de la materia orgánica —cuyo exceso favorece el desarrollo de organismos oportunistas— y aumenta el consumo de oxígeno para su degradación y las

(Aprende en la página 71...)



Limitantes de la producción agrícola de acuerdo a la percepción de los productores del estado de Guanajuato:
Plagas y/o enfermedades: 84%
Mercado, precios y comercialización: 42%.

Manejo de agroquímicos:
Aplican el producto de acuerdo a las instrucciones de la etiqueta.

Frecuencia:
Una o dos veces por ciclo.

Insecticidas

Flash 50 (10% de uso)
Parathion metílico 720 CE (13% de uso)

Furadán 350 L (32% de uso)
Metham 600 (16% de uso)
Tamarón 600 (10% de uso)

Karate Zeon 5 SCS (36% de uso)
Malathion 1000 (26% de uso)
Omite 6E (10% de uso)

Cuparmetrina 200 (16% de uso)
Dimetoato 40% CE (10% de uso)

Herbicidas

Faena ultra (6% de uso)
Sarcón 4 SC (3% de uso)

Gramoxil (13% de uso)
Gramoxone (10% de uso)
Herbamina (13% de uso)
Hesterón plus (7% de uso)
Paraquat 200 (3% de uso)
Tranquat (7% de uso)

Fungicidas

Cupertron (6% de uso)
Cupravit Mix (6% de uso)

Fertilizantes

Ácido fosfórico (3% de uso)
Ácido sulfúrico (3% de uso)
Amoniaco (3% de uso)
Cloruro de potasio (3% de uso)
Fosfato monoamónico (3% de uso)
Fósforo (10% de uso)
Nitrato de amonio (6% de uso)
Nitrato de calcio (3% de uso)
Potasio (10% de uso)
Sulfato de amonio (26% de uso)
Sulfato de potasio (3% de uso)
Sulfato diamoniaco (3% de uso)
Urea (45% de uso)

Extremadamente tóxicos

Altamente tóxicos

Ligeramente tóxicos

Moderadamente tóxicos

Ligeramente tóxicos

Moderadamente tóxico

Ligeramente tóxicos

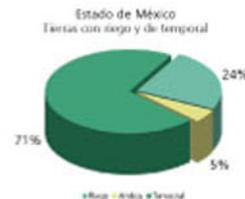
Ligeramente tóxicos

El 92% son granos y hortalizas:

Aceña
Brocoli
Cacahuate
Calabaza
Camote
Cebolla
Cebolla de cambray
Chile
Col
Col de bruselas
Coliflor
Espinaca
Fresa
Frijol
Garbanzo
Jicama
Jitomate
Lechuga
Maíz
Papino
Tomate
Trigo
Verdólaga

8% son forrajes:

Alfalfa
Sorgo



Limitantes de la producción agrícola de acuerdo a la percepción de los productores del estado de México:
Heladas y/o granizadas: 62%
Plagas y/o enfermedades: 57%

Manejo de agroquímicos:
Aplican el producto de acuerdo a las indicaciones de la tienda, no a lo que dice la etiqueta.

Frecuencia:
Una vez por ciclo.

Fumigante	Bromuro de metilo (43% de uso)	Extremadamente tóxico
Insecticidas	Furadán 350 L (10% de uso) Tamarón 600 (19% de uso) Thiodan 35 TE (5% de uso)	Altamente tóxicos
Herbicidas	Hesterón plus (10% de uso)	Moderadamente tóxico
Fungicidas	Captan ultra 50 VP (19% de uso) Strobey DF (5% de uso)	Ligeramente tóxicos
Fertilizantes	Nutrivigor (23% de uso) Nutrifuerza (5% de uso) Nutrifruto (5% de uso) Nutricarga (5% de uso)	Ligeramente tóxicos

El 72% son cultivos ornamentales:

- Alcatraz
- Belén
- Cora
- Clavel
- Clavelina
- Geranio
- Hortensia
- Gerbera
- Lili
- Llamal
- Malvón
- Marigol
- Nochebuena
- Parulillo
- Pensamiento
- Petunia
- Sinraria
- Squebola
- Rosa
- Violeta africana
- Violeta imperial

Granos y hortalizas:

- Avena 7%
- Calabaza 5%
- Frijol 5%
- Maíz 7%
- Tomate 5%

reacciones químicas. Hay otros plaguicidas que se mantienen disueltos en la columna de agua y, dependiendo de su origen, afectarían a los microorganismos que viven en ella.

La persistencia excesiva de plaguicidas en el suelo puede dañar a las semillas o plántulas recién sembradas, en tanto que su infiltración en el perfil del suelo y su potencial llegada a los mantos freáticos o a los cuerpos de agua, depende de la permeabilidad, del grado de erosión, de la presencia de materia orgánica en el suelo, de la humedad en el mismo y de otros factores ambientales.

Algunos plaguicidas, al ser aplicados, se volatilizan en gran medida y pasan a la atmósfera. Otros, cuando se combinan con fuentes de nitrógeno, inhiben su degradación.

Por estas razones, es absolutamente necesario generar y aplicar una normatividad para regular el uso de agroquímicos autorizados para cada problemática particular y respetar su dosificación y condicionantes —entre las que se incluyen las cuidados para su aplicación— y evitar así riesgos o daños a la salud humana. Sólo de esta manera se estará cumpliendo con el principio precautorio de la Agenda XXI.



Limitantes de la producción agrícola de acuerdo a la percepción de los productores del estado de Michoacán:
Plagas y/o enfermedades: 57%
Sequía y falta de agua: 43%

Manejo de agroquímicos:
Aplican el producto de acuerdo a las instrucciones de la etiqueta

Frecuencia:
Una o dos veces por ciclo

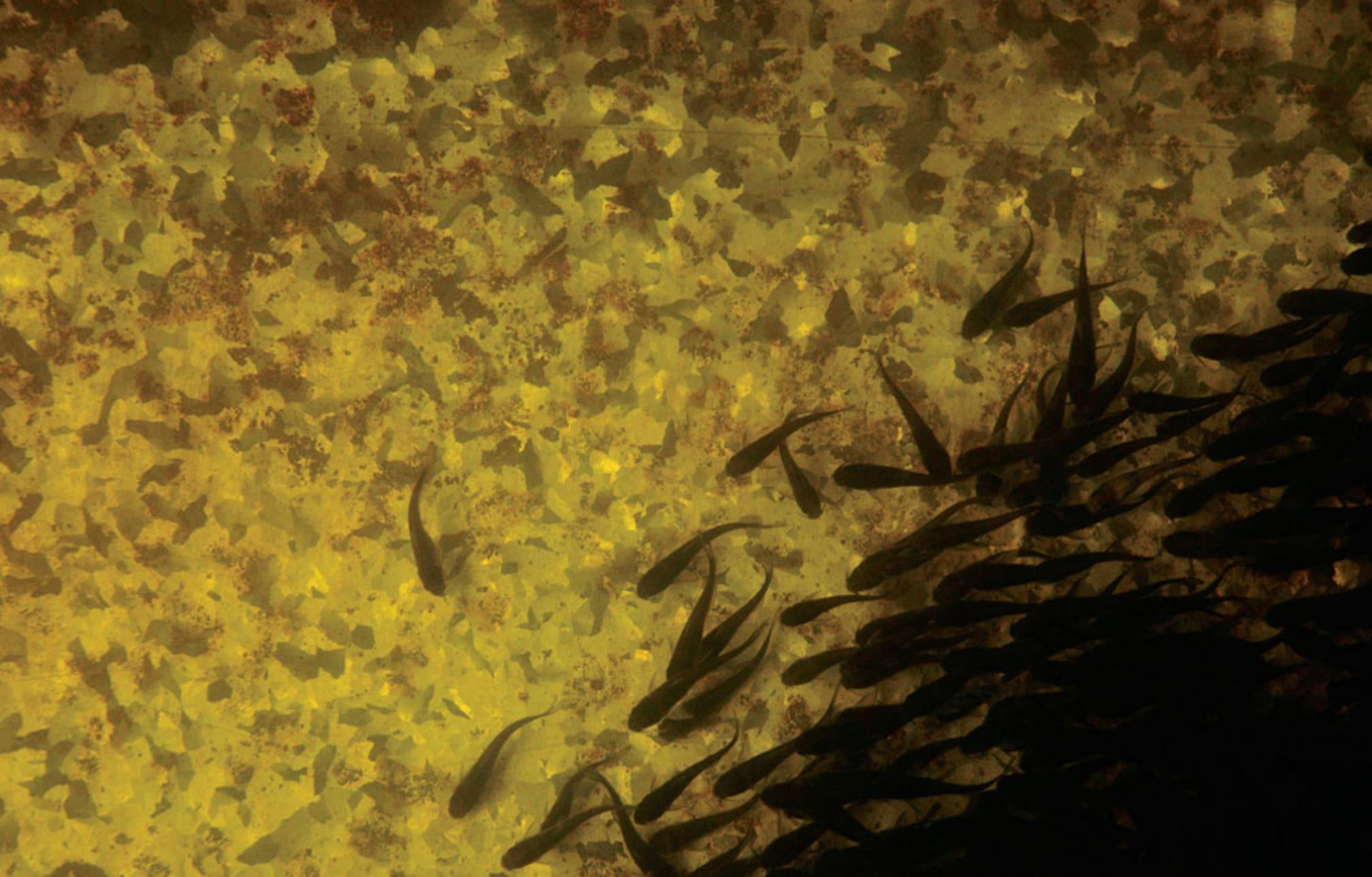
Insecticidas	Furadán 350 L (43% de uso) Biflex F (14% de uso) Karate Zeon 5 SC5 (14% de uso) Malathion 1000 (14% de uso) Lorsban 480 EM (14% de uso)	Altamente tóxico
Herbicidas	Faena ultra (6% de uso) Sansón 4 SC (3% de uso)	Moderadamente tóxico
Fertilizantes	Nitrato de amonio (43% de uso) Sulfato de amonio (43% de uso) Urea (100% de uso)	Ligeramente tóxicos

El 57% son granos:

- Cártamo
- Garbanzo
- Maíz
- Trigo

El 43% son forrajes:

- Alfalfa
- Pasto canamargo
- Sorgo



ACTIVIDADES PISCÍCOLAS

Luis Zambrano González

EN LOS CUERPOS DE AGUA MEXICANOS hay cuando menos 90 especies introducidas. De éstas, al menos 12 especies se encuentran dentro de la cuenca Lerma-Chapala (Contreras, 2000). Dado que la cuenca cuenta con una gran variedad de tipos de cuerpos acuáticos y diferentes ambientes climáticos —que van desde sistemas con temperaturas bajas hasta sistemas que cuentan con temperaturas más cercanas a las tropicales— es un receptáculo ideal para prácticamente cualquier tipo de especie.

Sin embargo, las especies de peces introducidas en la cuenca pueden generar grandes problemas tanto en la diversidad como en la calidad del agua e incluso en la velocidad de azolvamiento de los ríos.

En las últimas décadas la acuicultura ha sido una actividad altamente promovida en México, como medio de solucionar los problemas de nutrición de comunidades rurales pobres; como resultado, esta actividad es la causa más importante de introducción de especies en esta cuenca. En ella se producen al año casi 17 mil toneladas de tilapia (*Oreochromis mossambicus*, *O. aureus*, *O. niloticus*) proveniente de África y casi diez mil toneladas de carpa común (*Cyprinus carpio*) y herbívora (*Ctheropharyngodon idella*), ambas provenientes de Asia. Por otro lado, aún cuando su origen está en la zona norte de México, la lobina (*Micropterus salmoides*) también es introducida en la cuenca Lerma-Chapala para la acuicultura, produciendo 18 toneladas por año en los cinco estados (SEMARNAT, 2003). Este tipo de introducciones es recurrente. Esto es, cada año se realizan nuevas "siembras" de estas especies en muchos de los sistemas acuáticos de la cuenca para cumplir con los programas de acuicultura.

Los efectos de estas introducciones sobre los sistemas acuáticos pueden ser diversos, puesto que dependen en gran medida de la biología de cada organismo. Las carpas comunes son bentívoras, por lo que son fuentes de resuspensión de sedimentos constantes; además, reducen la cantidad de organismos bentónicos (fuente de alimento para las especies nativas) y de manera indirecta son responsables de reducir la cobertura vegetal sumergida, que es el refugio de muchas especies locales. En ocasiones, la carpa herbívora es introducida con la finalidad de reducir la cantidad de malezas, pero por lo general reduce primero la vegetación sumergida y pocas veces es capaz de controlar la maleza. Por lo general, estas especies se encuentran en la parte alta de la cuenca, en donde la temperatura es más fría. Por su parte, las tilapias son omnívoras, por lo que consumen tanto huevos de especies nativas, como plantas y organismos bentónicos. En densidades grandes estos organismos pueden generar erosión en las paredes del cuerpo de agua al hacer nidos para la reproducción. Finalmente, las lobinas son depredadoras, por lo que su introducción afecta de manera directa a las especies pequeñas de peces.

Otro tipo de introducción de especies exóticas se da para forrajeo o cultivo de peces de ornato. Algunos organismos introducidos en la cuenca para este propósito son el pez dorado (*Carassius auratus*) de Asia, el pez sol (*Lepomis cyanellus*) y la mojarra oreja azul (*L. macrochirus*) de Estados Unidos y norte de México respectivamente. Existen también introducciones accidentales de peces exóticos que son típicos de acuario. De esta manera, contamos con el pez cola de espada (*Xiphophorus helleri*) de Veracruz, el gupi (*Poecilia reticulata*) de Sudamérica y el pez convicto (*Archocentrus nigrofasciatum*) de Centroamérica. El primero es un organismo típicamente zooplanctívoro que puede entrar en competencia con las especies nativas del Lerma (tanto los aterinidos como los godeidos son típicamente zooplanctívoros) mientras que el segundo puede llegar a ser depredador cuando llega a tallas relativamente grandes. Estas especies han sido capaces de establecerse en los sistemas de la cuenca Lerma-Chapala gracias a su capacidad de adaptación a nuevos ambientes. Otro organismo que ha sido introducido, posiblemente por accidente, y que sobrevive en con-

diciones más tropicales, es el pez gato (*Hypostomus plecostomus*) originario del Amazonas. Este organismo es altamente adaptable por lo que se ha vuelto una de las plagas más peligrosas en México.

Uno de los principales problemas de las introducciones de especies exóticas en sistemas acuáticos es que una vez establecidas, su erradicación es prácticamente imposible. En la actualidad los programas de acuicultura son evaluados principalmente con base en la producción obtenida, pensando sólo en su beneficio social. No obstante este punto de vista, aún no queda claro si el objetivo de mejorar la nutrición de la población más pobre se está logrando (Tapia y Zambrano, 2003). El impacto de la acuicultura hacia el medio ambiente acuático es de tal magnitud y duración que debe ser considerado al momento de evaluar la introducción de estos programas.

Tanques de maduración de tilapias y bagres, en el Centro Acuicóla El Geranio, en Chupicuaro, cerca de la presa Solís, Guanajuato.



FOTO: ANDRÉS TORALDO



FOTO: ANDRÉS TORALDO



FOTO: ANDRÉS TORALDO



FOTO: ANDRÉS TORALDO

RECREACIÓN Y TURISMO

Tony Burton

turismo nacional, aunque es más numeroso, generalmente tiene un menor poder adquisitivo, por lo que busca gastar menos y se queda sólo por unos días en los sitios de interés. En comparación, el turismo extranjero —por haber invertido en un viaje largo para llegar a México— normalmente se queda más tiempo en los destinos turísticos y tiene como sitios preferidos las ciudades de Toluca, San Miguel Allende, Querétaro y Chapala-Ajijic.

El turismo en la cuenca creció de manera importante a finales del siglo XIX. La ribera del lago de Chapala se convirtió en un importante lugar de recreación durante muchos años. Posteriormente, con la disminución del caudal del río Lerma, las fluctuaciones de nivel del lago y la contaminación, fue mermando el interés en los deportes acuáticos. Recientemente, las ciudades coloniales como San Miguel Allende, Guanajuato, Morelia, Pátzcuaro y Querétaro se han ido consolidando como polos turísticos. En otros lugares de la cuenca se practican sólo algunas actividades recreativas, con poca afluencia de turismo. En particular, la pesca deportiva o recreativa, que en todos lugares atrae a un gran número de turistas, es prácticamente desconocida.

De esta forma podemos decir que el turismo formal se concentra sólo en un pequeño número de poblaciones dentro de la cuenca.

Se estima que hay un promedio de 10,000 a 15,000 turistas residentes en la cuenca Lerma-Chapala, que provienen principalmente de los Estados Unidos y Canadá. Normalmente se trata de residentes temporales extranjeros que vienen a disfrutar de sus días de retiro; sus destinos preferidos son las ciudades de San Miguel Allende y Chapala-Ajijic. De hecho, la comunidad de residentes norteamericanos en esta zona es la más grande del mundo fuera de los Estados Unidos de Norteamérica. Estos residentes temporales se sienten atraídos por el clima de la región, el acceso a servicios —como centros comerciales, restaurantes, hospitales y aeropuertos—, las múltiples atracciones folclóricas y culturales y, sobre todo, por los bajos costos de vida y de la propiedad en comparación con Estados Unidos o Canadá (Lamont, 1988). Quienes toman decisiones relacionadas con las actividades económicas

LAS ACTIVIDADES DE RECREACIÓN y turismo generan beneficios económicos, sociales, culturales y ambientales, pero igualmente pueden generar impactos adversos si no se planean adecuadamente. Los conflictos asociados al turismo se han incrementado en los últimos años con el aumento de la población en la cuenca ya que éste genera presiones sobre el medio ambiente. El turismo de excursionismo ("day-trippers") atrae hoy en día al 65% de los visitantes de poblaciones ribereñas como Chapala-Ajijic y de ciudades como San Miguel Allende, Dolores Hidalgo, Guanajuato, Morelia, Pátzcuaro y de la reserva ecológica de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) en Michoacán, de acuerdo con la estación del año.

El turismo formal normalmente hace reservaciones para quedarse por varios días y de esta forma poder visitar varios destinos. En este contexto, el

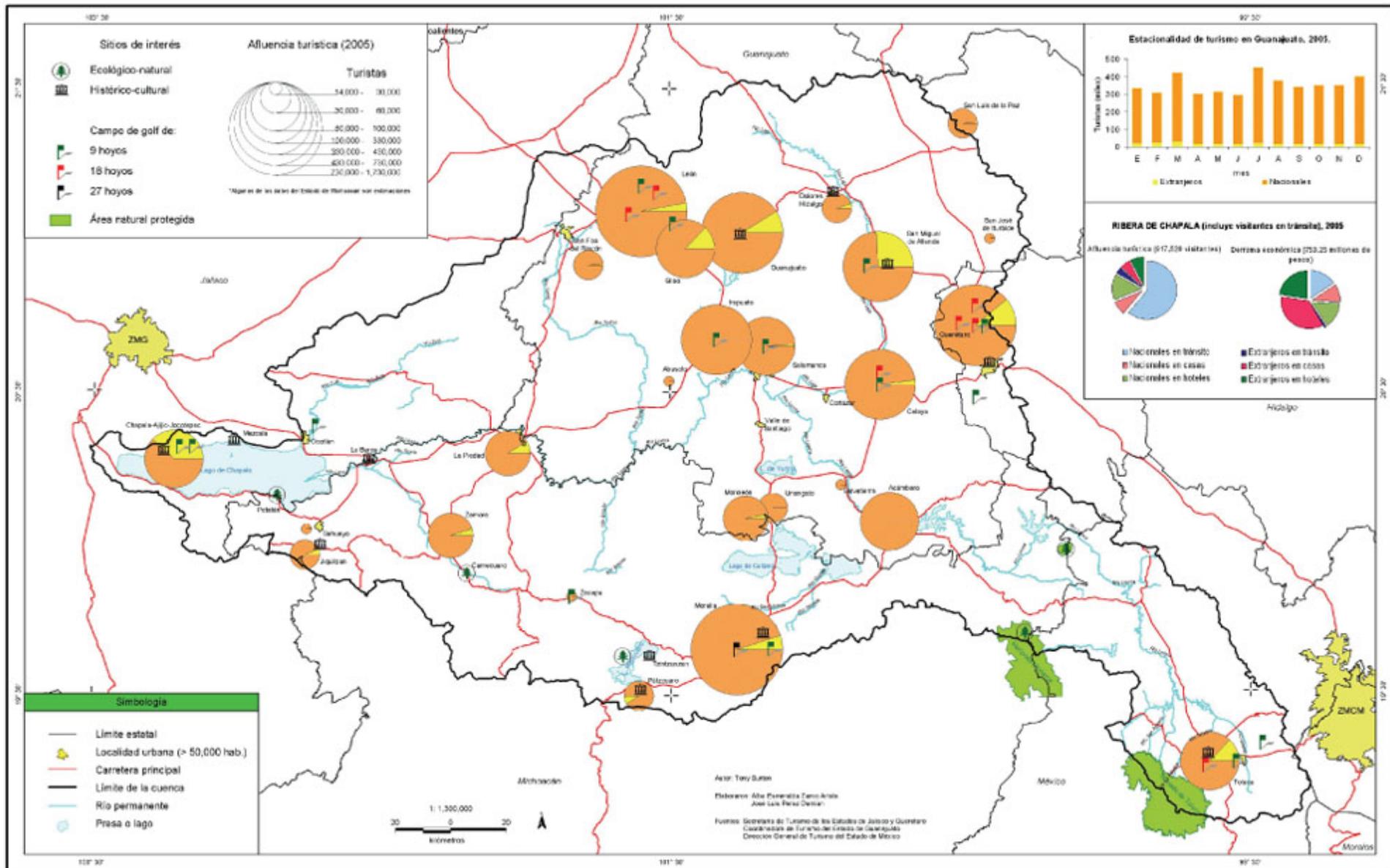


Diversas actividades turísticas en Pátzcuaro y Janitzio

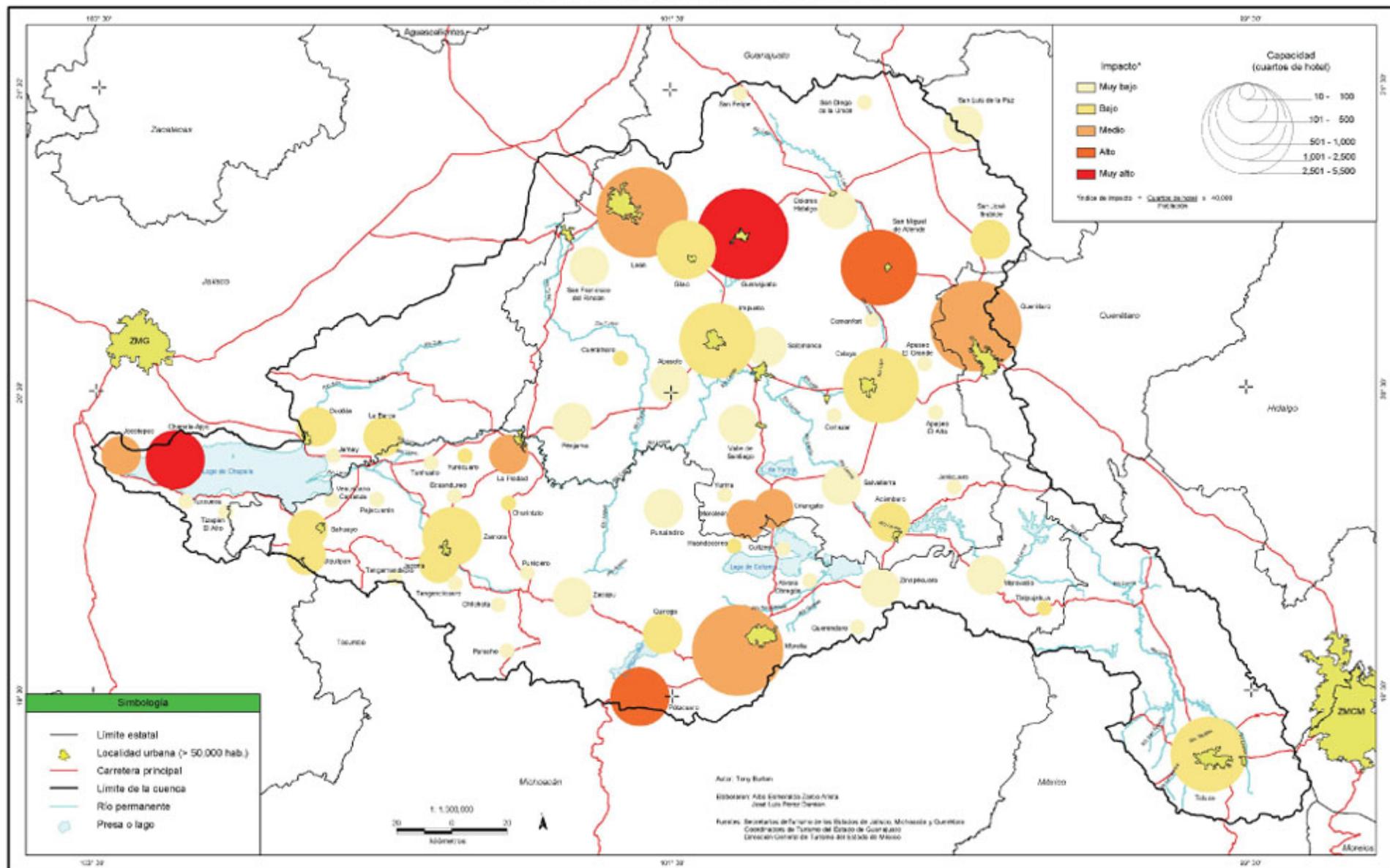


FOTOS: RAMIRO TOLUCA

AFLUENCIA A LOS CENTROS TURÍSTICOS MÁS IMPORTANTES EN 2005



CAPACIDAD E IMPACTO TURISTICO POR MUNICIPIO



podrían capitalizar esta situación ya que la derrama económica de estos residentes en la región probablemente excede los 500 millones de dólares americanos al año (Hyman, 1994). En el caso de Chapala-Ajijic, es notable el incremento en la oferta del empleo y la estabilidad económica municipal; sin embargo, han aumentado también los precios de la propiedad y el incremento en la densidad de población ha atraído problemas de tráfico y contaminación (Burton, 2004). Asimismo, han surgido conflictos asociados con la cultura y los derechos de propiedad (Talavera Salgado, 1982). Es indudable que en un futuro próximo continuará el incremento de residentes temporales de Estados Unidos y Canadá. Esta situación podrá capitalizarse sólo si se logra ofrecer mejores esquemas de planeación y desarrollo para estas ciudades.

Por su parte, la degradación ambiental en la cuenca ha disminuido sustantivamente su potencial para las actividades ecoturísticas. Las pocas reservas naturales que constituyen el hábitat de una gran cantidad de especies se encuentran en una necesidad urgente de ser atendidas con planes efectivos de conservación. Ninguna de las pocas áreas declaradas como protegidas en la cuenca se encuentran directamente asociadas al río Lerma o al lago de Chapala.

En particular, hay algunos puntos turísticos que se encuentran bajo presión ambiental extrema ya que en ciertas temporadas del año reciben un número de turistas que excede su capacidad de resiliencia. Tal es el caso del Parque Nacional Lago de Camécuaro, la isla de Janitzio y el lago de Pátzcuaro. Un turismo bien manejado puede generar los recursos necesarios para las actividades de conservación y protección. Para tener éxito en estos proyectos se requiere de la planeación y participación local en dichas actividades.

La mayoría del turismo gusta de tener una combinación de experiencias y la cuenca ofrece una gran variedad de posibilidades (Burton, 2004). Los nichos de mercado culturales, comerciales y ecoturísticos pueden desarrollarse. Por ejemplo existe una enorme área de oportunidad que se puede desarrollar y ofrecer en la región para los observadores

de aves procedentes de los Estados Unidos. Se estima que actualmente esta actividad genera una derrama económica de miles de millones de dólares por año de la cual se puede tener participación si se atrae esta actividad a la cuenca a fin de observar las numerosas especies endémicas, así como las espectaculares aves migratorias —como el pelicano blanco (Pérez Vega, 2003). Otras actividades de interés para la región pueden ser los paseos a caballo y las excursiones para escalar montañas.

El turismo exagera la limitación del recurso hídrico en la cuenca. Esta es una preocupación en todas las ciudades orientadas al turismo. Grandes extensiones de tierra cubiertas con pastos generan pérdidas importantes de agua por evapotranspiración especialmente durante el estiaje, tal como ocurre en los campos de golf. En la cuenca se localizan 23 de los 200 campos de golf que existen en el país. Es esencial hacer consideraciones en su diseño y manejo a fin de evitar mayor destrucción del hábitat y la pérdida de la vida silvestre y, por otra parte, establecer medidas para racionalizar el uso de agroquímicos y el consumo del agua para el riego, ya que el impacto de cada campo de golf es equivalente al generado por 4,500 usuarios domésticos (Walsh, 2004).

El consumo de agua en las áreas recreativas puede reducirse significativamente si se favorece el "xeripaisajismo" el cual busca resaltar la belleza natural propia de las zonas áridas y semiáridas (Burton, 1991). Igualmente, el uso indiscriminado de insecticidas y agroquímicos en los hoteles, jardines y áreas recreativas son potenciales promotores de problemas ambientales y de salud tanto para los residentes como para las especies locales. En particular, el uso excesivo de agroquímicos conduce a problemas de eutrofización en presas, embalses y lagos (ver la sección *Condición socioambiental...*).

La planeación para un buen manejo de los recursos y los ecosistemas es esencial para evitar continuar con la destrucción del hábitat de numerosas especies endémicas de la cuenca que ahora se encuentran en peligro de extinción (Walsh, 2004).

El turismo, uno de los ejes para el desarrollo estratégico del país de acuerdo con el Plan Nacional



Turismo en Pátzcuaro (arriba) y Ajijic (abajo)



USO DE LA BIODIVERSIDAD EN LAS CIÉNEGAS DEL LERMA

Gustavo Pérez Ortiz y Manuel Valdés Alarcón

UBICADAS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO LERMA, en la franja oriental del valle de Tehuaca, las Ciénegas del Lerma son el origen del río Lerma, uno de los más largos del país. De sur a norte, las ciénegas están conformadas por tres tramos. El primer tramo está ocupado por la ciénega de Almoloya, el segundo y más extenso de los tres es la ciénega del Lerma y el último corresponde a la ciénega de Atarazquillo.

Desde el punto de vista hídrico, estas ciénegas tienen un papel importante en el almacenamiento e infiltración de agua; al mismo tiempo, funcionan como vaso regulador de inundaciones. Poseen además una gran diversidad biológica, incluyendo especies endémicas y nativas en riesgo que son de importancia estética y económica. En consecuencia, y debido a su riqueza y diversidad biológica, las ciénegas han sido declaradas como Área Natural Protegida (ANP) para la protección de flora y fauna (DOF, 2002).

ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO CINEGÉTICO

Las ciénegas son áreas de atracción para más de 14 especies de aves acuáticas migratorias como son *Anas acuta*, *Anas diazi* y *Aythya valisineria* (cada vez menos frecuente), entre otras. Además se localiza *Anas diazi* (no migratoria).

Aún cuando el número de ellas se ha visto reducido en los últimos años, siguen siendo abundantes y representan una importante alternativa económica para los habitantes de la región, a través de la cacería. Es importante señalar que la caza deportiva ha sido una de las razones de mayor peso para la conservación de gran parte de estos humedales. La derrama económica que genera paga sueldos de lancheros, vigilantes y trabajadores que controlan la invasión de algunas especies vegetales y el desborde de arenas hacia las ciénegas. La caza es limitada en estas áreas, quedando restringida exclusivamente a los domingos, con cuando la Ley de General de Vida Silvestre la permite durante toda la semana. Sin embargo, es necesario poner en marcha un estudio de las poblaciones de anátidos y su uso en el área para estructurar un programa que garantice su correcto aprovechamiento en las ciénegas. Un buen programa de manejo y aprovechamiento de aves acuáticas migratorias es una garantía para realizar un uso sostenido de este recurso y un instrumento que puede permitir la conservación de los humedales.

El aprovechamiento cinegético es una de las actividades productivas que proporcionan beneficios económicos a las comunidades ribereñas y promueve un interés por la conservación de estos ecosistemas. En un intento por evaluar esta actividad y la derrama económica que genera, técnicos de las

CGMAS (Unidades de Manejo y Aprovechamiento para la Conservación de la Vida Silvestre) y estudiantes de la Universidad del Estado de México realizaron un estudio durante el periodo de actividad cinegética —que tiene una duración de 16 domingos— en el que se estimaron los posibles impactos de esta actividad mediante el conteo directo de aves cazadas en seis domingos distribuidos en el periodo de la temporada. Las especies de patos cosechados durante este periodo de caza fueron *Anas creta*, *A. diazi*, *A. cygnoptera*, *A. chrysa*, *A. acuta*, *A. diazi*, *A. americana* y *A. strepera*, en orden de mayor a menor frecuencia de cosecha, así como *Fallacia americana* y *Oxyura jamaicensis*, cosechadas accidentalmente. Sin embargo, éste fue un estudio parcial que no refleja el impacto de la cacería y los beneficios económicos que genera. Por ejemplo, la cantidad de puestos que se colocan en la ciénega depende básicamente de cada uno de los ejidos y de sus intereses particulares (económico, calidad de caza y servicio cinegético que cada ejido proporciona a los turistas). Si se plantea un aprovechamiento sustentable de las aves acuáticas, con bases científicas sólidas obtenidas de los estudios de monitoreo aéreo e impacto cinegético, estos factores deberán ajustarse a la tasa de aprovechamiento asigna-

da por región y a un convenio que limite el número de puestos en cada ciénega y que garantice un aprovechamiento sostenido de las aves acuáticas. El aprovechamiento cinegético genera beneficios económicos indirectos que no han sido bien evaluados (cuánto dinero genera, cuánta gente se beneficia); por ejemplo, la construcción de los puestos de caza, así como el acondicionamiento de las ciénegas (clareos de vegetación invasora) también significa el uso de mano de obra (lancheros, recogedores y peladores de aves). No obstante, no existe una evaluación sistemática que permita estimar el impacto de la cacería en las tres ciénegas, las especies que arriban a ellas y los beneficios económicos que esta actividad genera a las comunidades (cuánta gente se beneficia), el uso directo (consumo) e indirecto (comercio y artesanía) de la flora y fauna de estos humedales y los posibles riesgos por los efectos de la contaminación en los productos que aún se utilizan para consumo (peces, anfibios, papas de agua, berros).

Por lo anterior, es necesario establecer un programa de manejo regional que involucre a las diez Unidades de Manejo y Aprovechamiento Sustentable que están registradas por la Dirección General de Vida Silvestre en los tres humedales que componen el sistema de las Ciénegas de Lerma, tomando en cuenta la diversificación de aprovechamientos de subsistencia y el aprovechamiento comercial. Éste puede constituirse en un modelo alternativo altamente rentable, en contraste con la producción agrícola tradicional que requiere del cambio del uso de suelo y la transformación de estos ecosistemas.



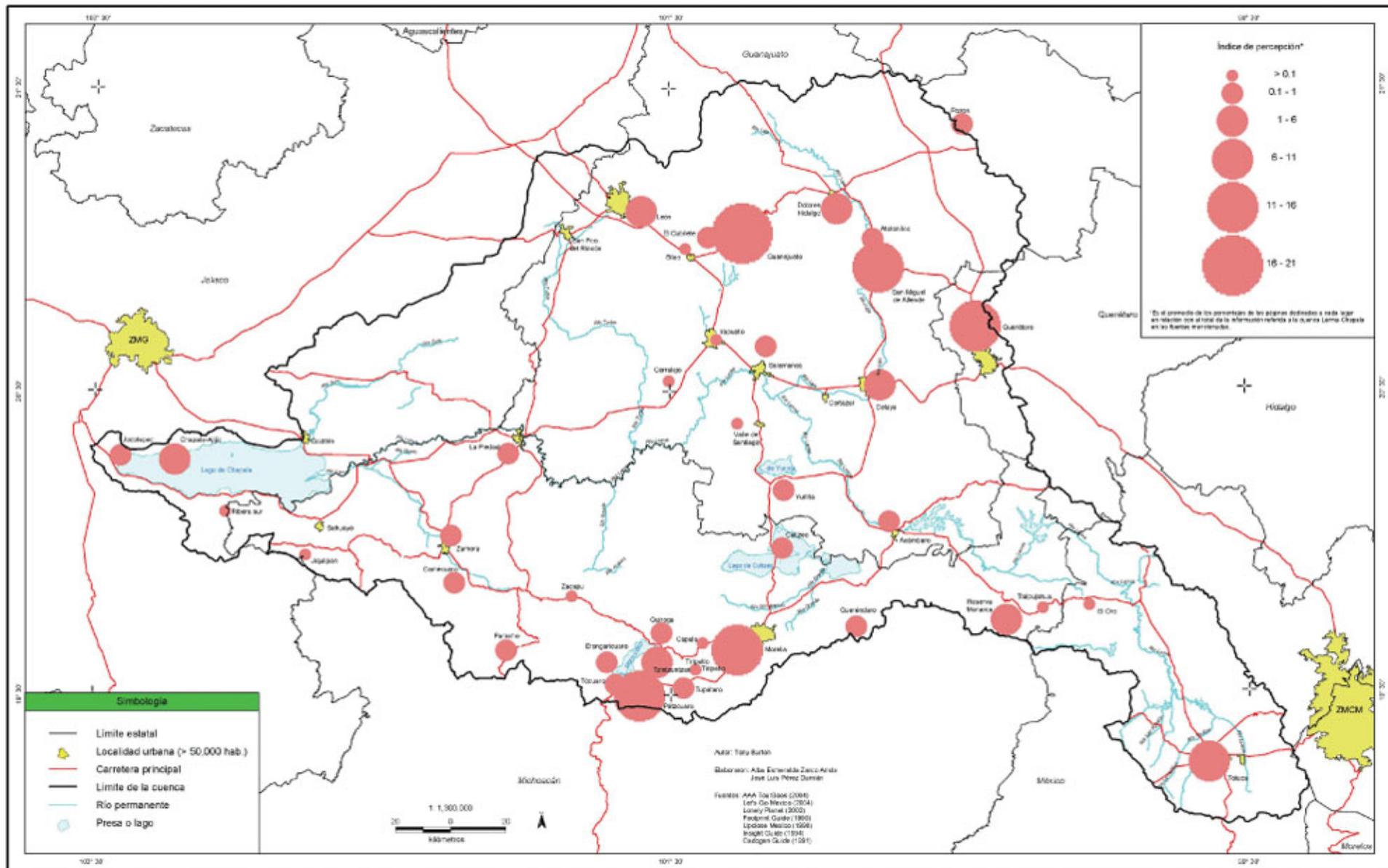
Pescadores a orillas del lago de Chapala

de Desarrollo 2001-2006, ofrece varias oportunidades para el desarrollo sustentable de la cuenca. La *Agenda 21 para el Turismo Mexicano*, establece 27 indicadores de sustentabilidad para el turismo en México (SECTUR, 2006). Para septiembre del 2005 únicamente las ciudades de Guanajuato, San Miguel Allende y Pátzcuaro habían establecido comités para evaluar y dar seguimiento a dichos indicadores (Rice Rodríguez, 2005). Ausencias notables a este llamado fueron las ciudades de Querétaro y los municipios localizados en la ribera del lago de Chapala.

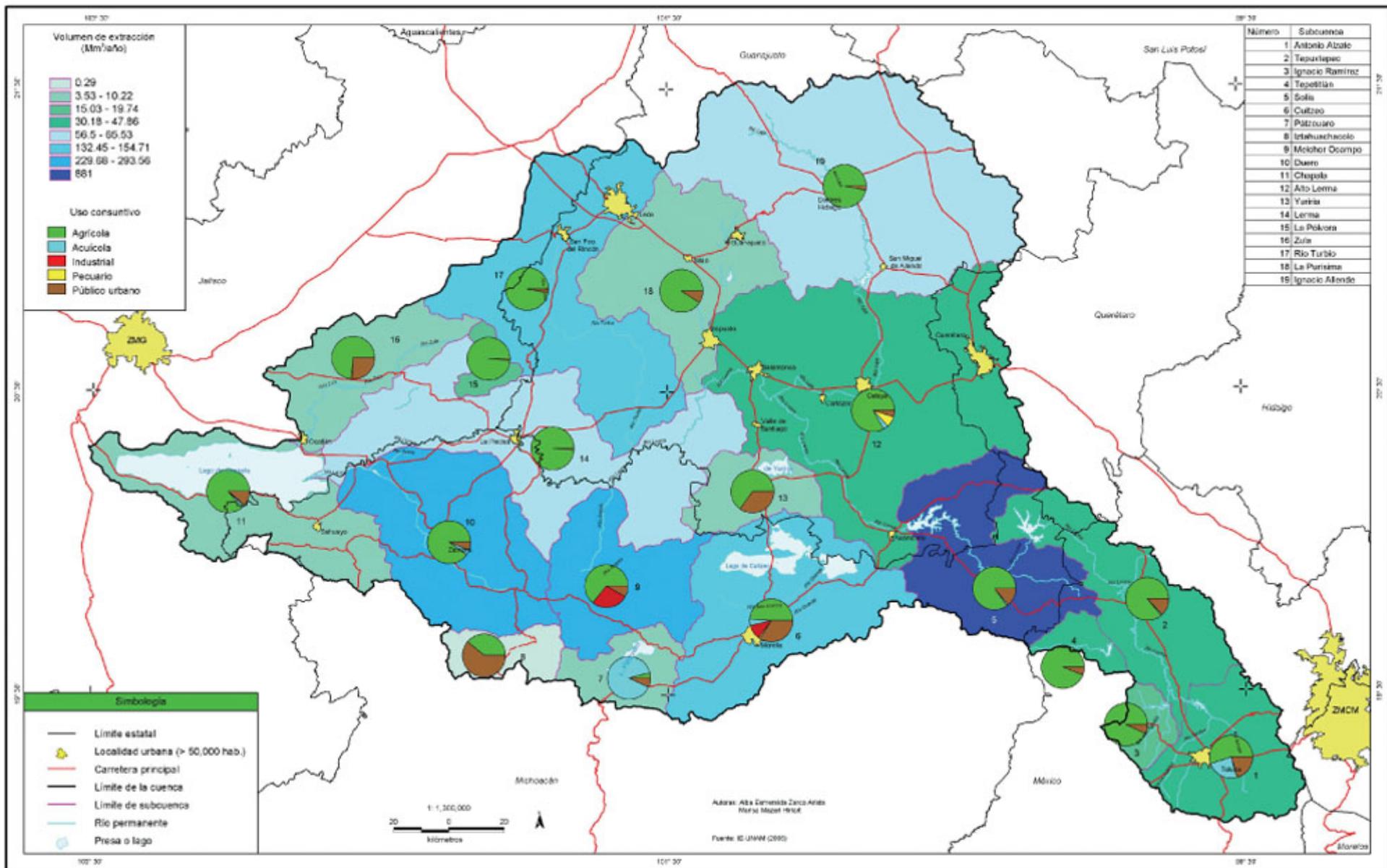
Para tener éxito en las estrategias para lograr un desarrollo sustentable del turismo en la cuenca es necesario:

- Evitar el proceso de degradación ambiental.
- Incrementar el número de sitios históricos y de atractivos naturales existentes y potenciales.
- Incrementar en número y variedad los lugares visitables por el turismo nacional e internacional.
- Reducir la pronunciada estacionalidad del turismo existente en la cuenca.
- Desarrollar planes turísticos para incrementar el tiempo de estadía y derrama económica del turismo regional.

PERCEPCIÓN TURÍSTICA EXTRANJERA



USOS CONSUNTIVOS DE AGUA SUPERFICIAL



USOS CONSUNTIVOS DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Alba Esmeralda Zarco Arista
y Marisa Mazari Hiriart

LA CUENCA LERMA-CHAPALA ha experimentado un fuerte crecimiento poblacional e industrial, incrementándose por ello la demanda de agua. En el año 1950 se reportaba para la cuenca una población total de 2,990,803 habitantes, en tanto que para el año 2000 la población ascendió a 11,000,000 de habitantes. Por otra parte, el desarrollo de las actividades industriales y agrícolas sitúan a la cuenca Lerma-Chapala con una produc-

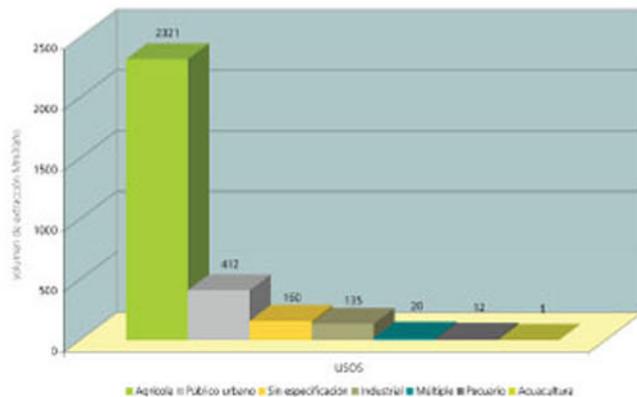
ción *per cápita* superior al promedio nacional. Estas condiciones han generado que el incremento en la demanda de agua para diferentes usos se incremente a una tasa mayor que la recuperación de los sistemas acuáticos, tanto superficiales como subterráneos.

AGUA SUPERFICIAL

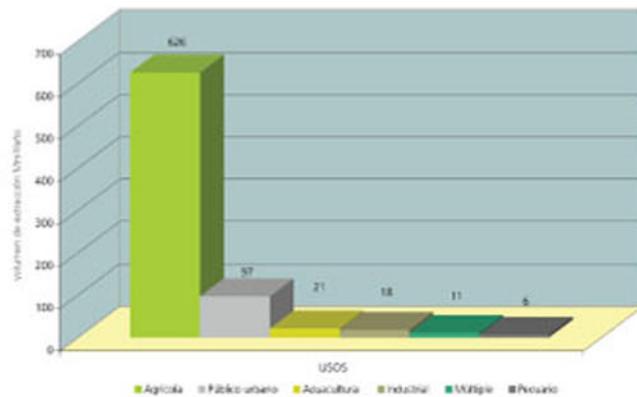
De acuerdo con los datos del Registro Público de Derechos del Agua (CONAGUA, 2005) el volumen

total de extracción de agua superficial en la cuenca Lerma-Chapala es de 2,036 Mm³/año (millones de metros cúbicos al año), con 4,046 aprovechamientos superficiales concesionados.

La información se agrupó en seis categorías de aprovechamiento: agrícola, público urbano (que integra público urbano, doméstico y servicios), acuicultura, industrial (que integra industrial y agroindustrial), múltiple y pecuario. Cabe aclarar que en zonas urbanas la industria se abastece tam-



Extracción de agua subterránea (3,059 Mm³/año). Datos: RESEA, CONAGUA, 2005.



Extracción de agua superficial (779 Mm³/año). Datos: RESEA, CONAGUA, 2005.



FOTO: MARISA MAZARI



FOTO: ALBA ZARCO

Lago de Cuitzeo en tiempo de secas (arriba) y compuerta de riego en las inmediaciones de Salvierra (abajo).

bién de la red municipal, por lo que el volumen reportado está subestimado.

Los principales usos a los que se destina el agua superficial son generación de energía eléctrica, con un total de 1,254 Mm³/año, como uso no consuntivo, en las presas Solís, Duero, Melchor Ocampo y Cuitzeo. Como uso consuntivo el agrícola (626 Mm³/año) es el predominante, seguido de público urbano (98 Mm³/año), acuicultura (21 Mm³/año), industrial (18 Mm³/año), múltiple (12 Mm³/año) y pecuario (6 Mm³/año).

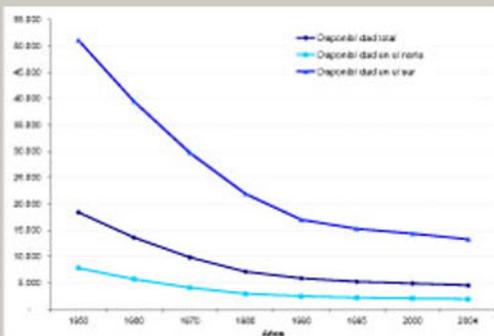
Especialmente, las subcuencas que presentan el mayor volumen de extracción son Solís, Melchor Ocampo, Duero, Cuitzeo, Río Turbio, Lerma e Ignacio Allende. El uso predominante es agrícola, con mayor extracción en las subcuencas Río Turbio, Ignacio Allende, Solís, Lerma, Duero, Cuitzeo, Alto Lerma y Tepuxtepec, donde se ubican los distritos de riego 011 (Alto Río Lerma), 085 (La Begoña)

DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE AGUA EN LA CUENCA LERMA-SANTIAGO-PACÍFICO

José de Anda Sánchez

CON EL INCREMENTO DE LA POBLACIÓN en la cuenca a partir de los años 50's crecen las necesidades de abastecimiento de agua. Se construyen presas, bordos y canales principalmente para el riego agrícola, se inicia la exportación de agua subterránea del acuífero de Lerma a la ciudad de México y el bombeo de agua del lago de Chapala a la ciudad de Guadalajara. En 2004 el 79.3% del agua concesionada en la cuenca Lerma-Chapala estuvo constituido por extracciones de agua subterránea y el 20.7% por extracciones superficiales (CONAGUA, 2005).

Al comparar la situación de la disponibilidad de agua a nivel nacional para el año 2004, así como la situación para la región sur y norte de la República Mexicana, se observa una situación de menor disponibilidad para la región norte, con una diferencia significativa comparada con la región sur. Dado que aún no existen datos disponibles para la cuenca Lerma-Chapala, se muestra la situación para la región Lerma-Santiago-Pacífico, la cual se encuentra por debajo del ya de por sí crítico valor medio de la región norte. La disponibilidad media anual *per cápita* de esta región alcanza apenas 1,820 metros cúbicos (CONAGUA, 2005; CONAPO, 2006), que de acuer-



Disponibilidad media anual m³/habitante/año.

do con los estándares internacionales clasifica como de muy baja disponibilidad. Esta situación prevalecerá en los escenarios futuros al menos hasta el 2025, sin considerar que existe una pérdida adicional de disponibilidad por la contaminación del agua.

Disponibilidad media anual per cápita en 2004 y 2025 (CONAGUA, 2005)

Región Hidrológico Administrativa	Disponibilidad (m³)	Clasificación media anual per cápita 2004 (m³/hab/año)	Disponibilidad media anual per cápita 2005 (m³/hab/año)	Clasificación
I Península Baja California	1,317	Muy bajo	833	Extremadamente bajo
II Norte-Este	3,210	Bajo	2,491	Bajo
III Pacífico Norte	6,038	Mediano	5,517	Mediano
IV Río Balsas	2,703	Bajo	2,403	Bajo
V Pacífico Sur	7,782	Mediano	7,378	Mediano
VI Río Bravo	1,356	Muy bajo	1,007	Extremadamente bajo
VII Centro y Norte	1,726	Muy bajo	1,606	Muy bajo
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	1,820	Muy bajo	1,583	Muy bajo
IX Norte del Golfo de México	4,666	Bajo	4,200	Bajo
X Centro del Golfo de México	10,574	Alto	9,853	Mediano
XI Frontera Sur	24,549	Muy alto	19,790	Alto
XII Península de Yucatán	8,255	Mediano	5,786	Mediano
XIII Valle de México y Sistema Cutzamala	188	Extremadamente bajo	162	Extremadamente bajo
Total en la República Mexicana	4,505	Bajo	3,808	Bajo

y los sistemas de pequeña irrigación del Bajío, en los estados de Guanajuato y Michoacán. El uso público urbano es el más importante en las subcuencas Iztahuachacolo, Cuitzeo y Yuriria. El uso industrial sólo es relevante en las subcuencas Melchor Ocampo y Cuitzeo mientras que el uso para acuicultura resulta importante solo en Pátzcuaro y Antonio Alzate.

AGUA SUBTERRÁNEA

La cuenca Lerma-Chapala abarca 47 acuíferos, de los cuales el REDPA tiene concesiones registradas en 43 de ellos para diversos usos que se agrupan en: agrícola (que integra agrícola, agrícola-doméstico-industrial, agrícola-pecuario), público urbano (que integra público urbano, servicios, doméstico y servicios-agrícola), acuicultura, industrial (que integra industrial, agro-industrial, agrícola-industrial), pecuario, múltiple y sin especificación. El volumen total de extracción de agua subterránea es de 3,059 Mm³/año con 20,299 aprovechamientos subterráneos. El uso predominante es el agrícola, representando el 76% de la extracción de agua subterránea con 2,321 Mm³/año, 3.7 veces más que el volumen de agua superficial para este uso. El uso público urbano con 412 Mm³/año, es 4.2 veces más que el volumen de agua superficial para el mismo uso; el uso industrial con 135 Mm³/año es 7.5 veces más que la extracción de agua superficial para el mismo uso; el uso pecuario con 12 Mm³/año es 2 veces más que el agua superficial para el mismo uso y finalmente la acuicultura con 1 Mm³/año es 0.2 veces menos que el agua superficial utilizada.

Los acuíferos que presentan el mayor volumen de extracción anual son Inapato-Valle, Valle de Celaya y Pénjamo-Abasolo. Los estados que presentan los mayores volúmenes de extracción son, en primer lugar, Guanajuato con 1,775 Mm³/año, seguido por Michoacán con 551 Mm³/año.

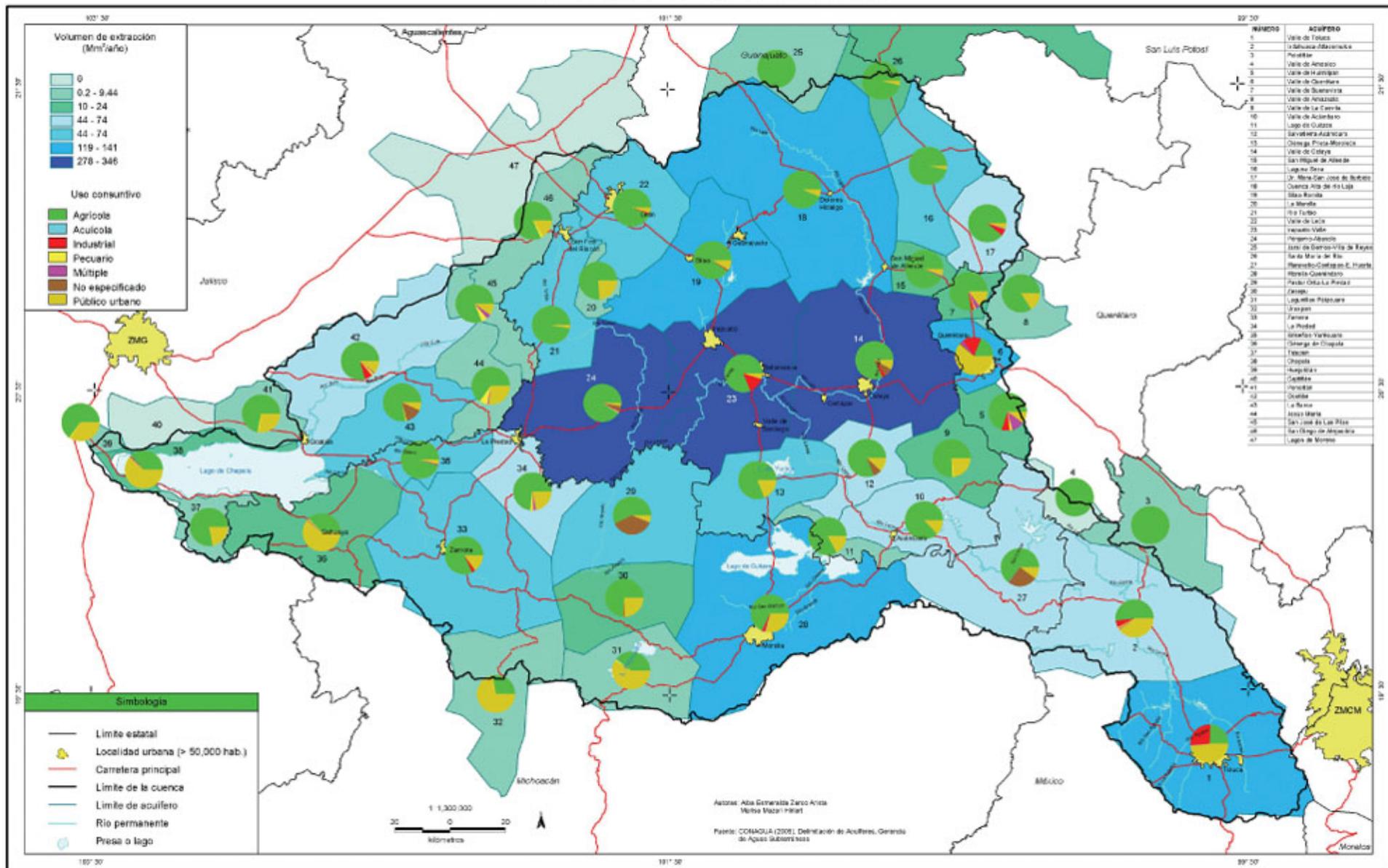
El volumen total de extracción de agua tanto superficial como subterránea utilizada en la cuenca Lerma-Chapala es de 3,841 Mm³/año, donde el 20% corresponde a agua superficial y el 80% a agua subterránea. Los usos de agua subterránea

sobrepasan la extracción de agua superficial, por lo que puede asegurarse que las actividades productivas en la cuenca Lerma-Chapala, con excepción de la acuicultura, dependen básicamente del agua subterránea. Este análisis brinda una visión parcial de la problemática, dado que la extracción real es más severa pues existen tomas clandestinas y el volumen concesionado no se respeta y se extrae más agua de la registrada.

Lago o embalse de Yuriria



USOS CONSUNTIVOS DE AGUA SUBTERRÁNEA





MARCO INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA

LA SINGULARIDAD DEL AGUA como bien público deviene de su elemental importancia como factor de vida y desarrollo. Su existencia determina la estructuración y organización social en centros tanto urbanos como rurales, por lo que la certidumbre sobre disponibilidad y acceso al recurso se convierte en un factor determinante para la sobrevivencia humana y la viabilidad del actual modelo de desarrollo. En este capítulo se revisan brevemente las principales instituciones que han sido creadas en México para llevar a cabo la gestión de los recursos hídricos, partiendo de una condición legal particular del agua como recurso natural propiedad de la Nación.

MARCO INSTITUCIONAL DEL AGUA

Georgina Caire Martínez

LA LEY DE AGUAS NACIONALES (LAN) de 1992, sustentada en el párrafo quinto del artículo 27 constitucional, ofrece el marco institucional para llevar a cabo la gestión de los recursos hídricos nacionales. Dicho proceso incluye la planeación, regulación, distribución y control de las aguas nacionales y bienes públicos (cauces, riberas, vasos de lagos e infraestructura hidráulica financiada por el gobierno federal), así como aquellas acciones orientadas a la preservación del agua en calidad y cantidad.

El Ejecutivo Federal, a través de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ostenta el poder de decisión sobre las aguas nacionales en su conjunto y, basándose en la cuenca hidrológica como unidad de gestión, adopta la figura de región hidrológica administrativa para facilitar la planeación y el control del recurso a través de las unidades administrativas denominadas Gerencias Regionales.

Las reformas a la Ley de Aguas Nacionales de abril del 2004 introducen la figura de Organismos de Cuenca, como unidades técnicas, jurídicas y administrativas que, bajo la supervisión de sus consejos consultivos y con el apoyo de los consejos de cuenca, serán responsables de ejercer la autoridad en materia de recursos hidráulicos de manera autó-

noma, aunque sus recursos y presupuesto continuarán dependiendo de la Comisión Nacional del Agua. Si bien estas reformas no se han implementado a la fecha (agosto de 2006) se infiere que las actuales Gerencias Estatales desaparecerían de la estructura de la CONAGUA y que las Gerencias Regionales serían reemplazadas por los mencionados Organismos de Cuenca con los cambios organizacionales correspondientes.

De acuerdo con la LAN, los Consejos de Cuenca son una instancia de carácter consultivo y un espacio para la discusión y concertación para los actores involucrados en la gestión del agua. Su objetivo último es impulsar la participación social en la gestión de los recursos hídricos, como una estrategia para asegurar la gobernabilidad del agua. Su existencia no constituye un traslado de capacidades para llevar a cabo la toma de decisiones relacionada con el poder y asignación de recursos. En caso de desacuerdo, el poder de decisión final se reserva a la autoridad federal (CONAGUA-Gerencia Regional y, en su momento, Organismo de Cuenca), la cual mantiene el control sobre los recursos financieros asignados y la propiedad de los bienes públicos regionales.

Otros aspectos de importancia para la gestión de los recursos hídricos, regulados por la Ley de Aguas Nacionales, son las concesiones y asignaciones para la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales y los derechos y obligaciones correspondientes; la creación y funcionamiento del Registro Público de Derechos de Agua, así como la definición de atribuciones para el decreto de vedas o la creación de zonas de reserva.

Finalmente, este documento establece y regula los diferentes usos del agua que pueden coexistir en una misma región, estableciendo el uso público urbano como prioridad en todos los casos. Asimismo, define la base legal del uso agrícola, el uso para generación de energía eléctrica, y el uso de actividades productivas.

Cabe destacar que la nueva Ley de Aguas Nacionales es un instrumento que se distingue de la legislación anterior por impulsar dos procesos que durante décadas se vieron velados por la confrontación de diversos intereses públicos y privados, deri-

Presidente	Director de la CONAGUA Designación del Ejecutivo Federal	voz y voto de calidad
Secretario Técnico	Funcionario de la CONAGUA Designación del Director de la CONAGUA	VOZ
Vocales	Titulares de los gobiernos de los estados Electos por mayoría relativa en su jurisdicción territorial	voz y voto
	Vocales usuarios Uno por cada tipo de uso (urbano, agrícola, energía eléctrica, otras actividades productivas) El número de usuarios deberá ser al menos igual al número del resto de los integrantes del consejo	
Invitados	Titulares de dependencias y organizaciones del gobierno federal o gobiernos estatales, ayuntamientos y/u organizaciones sociales	VOZ

Estructura del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala, Ley de Aguas Nacionales, COF, 1994

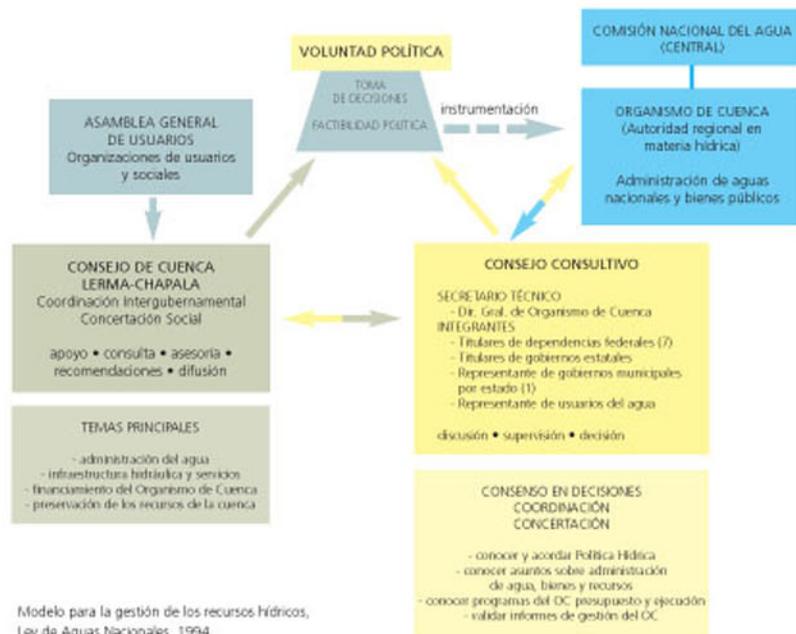






Presidente	Designado conforme a reglas internas del Consejo de Cuenca		voz y voto de calidad
Secretario Técnico	Presidente del Organismo de Cuenca, designado a su vez por el Director		voz y voto
Vocales	Vocales del gobierno federal SEMARNAT, SHCD, SEDESOL, ENERGÍA, ECONOMÍA, SALUD Y SAGARPA (Los representantes deberán tener al menos el nivel de Director)		voz y voto
Vocales de Gobierno	Titulares de los gobiernos estatales Electos por mayoría relativa en su jurisdicción territorial Titulares de los gobiernos municipales Presidentes municipales o representantes conforme lo determina cada estado, sin rebasar el porcentaje previsto	95% máximo	voz y voto
Vocales Usuarios	Vocales usuarios y Organizaciones de la Sociedad Electos en la Asamblea General de Usuarios de manera que se asegure la proporcionalidad de la representación ante el Consejo de Cuenca. El número de usuarios deberá ser al menos igual al número del resto de los integrantes	50% mínimo	voz y voto
Base social de elección	ASAMBLEA GENERAL DE USUARIOS Comités regionales, subregionales y estatales de usuarios Comités de Usuarios por tipo de uso y por acuífero Organizaciones sociales		voz
Invitados	Titulares de dependencias y organizaciones del gobierno federal o gobiernos estatales, ayuntamientos y/u organizaciones sociales		voz

Estructura de los Consejos de Cuenca, Ley de Aguas Nacionales, 1994



Modelo para la gestión de los recursos hídricos, Ley de Aguas Nacionales, 1994.

vados de la adopción de enfoques específicos. Por un lado, el proceso de descentralización que avanza al establecerse una distribución de atribuciones en términos de poder de decisión, atendiendo la regionalización natural que adopta la gestión del agua; y, por el otro, el visible interés de introducir una *gestión integrada de los recursos hídricos* al establecer consideraciones y criterios ecológicos como parte de un mismo proceso, que no es otra cosa que el reconocimiento del respeto al propio ciclo hidrológico.

En la búsqueda de un arreglo institucional que facilite mejores condiciones para la gestión de los recursos hídricos, las reformas aprobadas en el 2004 también modificaron el modelo de gestión. Los principales cambios introducidos ocurren a dos niveles, en la estructura de los consejos de cuenca y en la

estructura organizacional definida y establecida por la ley para los Organismos de Cuenca.

En el primer caso, los consejos de cuenca mantienen las mismas funciones de apoyo, consulta y emisor de sugerencias y recomendaciones en materia de recursos hídricos. Las modificaciones implican la apertura de los consejos a la participación de las organizaciones sociales, así como a la inclusión de representantes de dependencias del gobierno federal (ver gráficos).

En relación con los Organismos de Cuenca, las transformaciones derivan en la creación de entidades que se erigen en la autoridad regional en materia hídrica con autonomía técnica y administrativa, además de ser capacitadas como instancias financieras en la materia. Se prevé que los Organismos de

Cuenca contarán con un Consejo Consultivo integrado por representantes de autoridades federales, estatales y municipales, con la finalidad principal de servir como instrumento para fortalecer la rendición de cuentas entre la autoridad del agua y los gobiernos involucrados en el ámbito territorial correspondiente.

La variedad de los temas a tratar, así como las experiencias propias de cada Consejo de Cuenca, llevan a considerar que la introducción de este modelo de gestión basado en la coordinación intergubernamental y concertación social, significa un lento proceso de maduración. La rotación de los integrantes, su nivel de educación y el accidentado aprendizaje que representa el trabajo conjunto, son elementos que explican su tardía consolidación.

Sin embargo, de acuerdo con las experiencias internacionales, es importante mantener y fortalecer la participación social como estrategia para asegurar la gobernabilidad como un elemento indispensable de la gestión integrada de los recursos hídricos. Del mismo modo, resulta necesario insistir en la conveniencia de dotar a los Organismos de Cuenca de suficiente autonomía administrativa, técnica y financiera para incrementar su eficiencia en la operación y cumplimiento de sus responsabilidades.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS ACUERDOS DE COORDINACIÓN EN EL CONSEJO DE CUENCA LERMA-CHAPALA

Víctor Oseguera Green

Lago de Chapala



LA CUENCA LERMA-CHAPALA ha presentado históricamente una dinámica socioeconómica excepcional en el contexto nacional. Sus actividades dependen del uso del agua tanto superficial como subterránea, haciendo de ésta, la cuenca con el nivel más alto de aprovechamiento hídrico del país, bajo condiciones que determinan un grave desequilibrio entre la oferta y la demanda del recurso.

De un primer diagnóstico realizado en 1988, se detectaron como problemas principales el alto nivel de contaminación del río Lerma, la deficiente distribución de las aguas superficiales, alta ineficiencia de los usos agrícola y urbano, así como importantes procesos de degradación de suelos y de reducción de la cubierta vegetal existente. La situación prevalente empezaba a impactar la calidad de vida de sus habitantes ocasionando múltiples problemas sociales, económicos, políticos y ambientales.

Los antecedentes del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala se remontan a la firma del Acuerdo de Coordinación (13 de abril de 1989) en el que participaron el entonces Presidente de la República Carlos Salinas de Gortari y los gobernadores de los estados de Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán y Querétaro como respuesta a la problemática expuesta, que por entonces suponía un alto riesgo para el desarrollo alcanzado en la región.

Con el propósito de mejorar las condiciones ecológicas, sanitarias y de aprovechamiento del recurso hídrico, se planteó la implementación del Programa de Ordenamiento de los Aprovechamientos Hidráulicos y el Saneamiento de la Cuenca Lerma-Chapala¹. A partir de entonces, los esfuerzos por promover y mantener una acción coordinada en materia de agua han sido constantes entre los cinco estados que forman parte de la cuenca.

1º DE SEPTIEMBRE DE 1989. Para dar seguimiento y vigilar el cumplimiento de dicho programa se creó el Consejo Consultivo de la Cuenca Lerma-Chapala, integrado por los gobernadores de los cinco estados, los titulares de las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Programación y Presupuesto, Desarrollo Urbano y Ecología, Desarrollo Social,

Salud, Pesca y la Contraloría General de la Federación y las paraestatales Comisión Federal de Electricidad, Petróleos Mexicanos y Fertimex.

29 DE OCTUBRE DE 1990. Se instaló, como parte del Consejo Consultivo, el Grupo de Trabajo Técnico del Consejo de Cuenca integrado por representantes de las entidades miembros. Su objetivo principal fue la elaboración de las bases técnicas de un acuerdo de distribución y usos del agua en la cuenca. Durante su ejercicio se formuló el Reglamento de Operación del Consejo de Cuenca, se diseñó el Acuerdo sobre Disponibilidad, Distribución y Uso del Agua de la Cuenca y se concertó el Programa de Ordenamiento y Saneamiento de la Cuenca asignando al Consejo cuatro objetivos rectores:

- 1) Sanear la cuenca.
- 2) Reglamentar el uso del agua entre entidades federativas.
- 3) Lograr un uso eficiente del agua.
- 4) Manejar y conservar las cuencas y corrientes.

AGOSTO DE 1991. Se firma del Acuerdo de Coordinación Especial del Programa sobre Disponibilidad, Distribución y Usos de las Aguas Superficiales de Propiedad Nacional de la Cuenca. Sus objetivos fueron mejorar el modelo de distribución de agua entre usuarios y recuperar el lago de Chapala. En él se establece que la Comisión Nacional del Agua será responsable de determinar los volúmenes máximos de extracción de agua superficial para cada sistema usuario (ZMG y sistemas de riego) con base en los escurrimientos del periodo inmediato anterior y los niveles de almacenamiento del lago de Chapala. Este acuerdo ha sido aplicado desde 1991 hasta 2004.

28 DE ENERO DE 1993. Como consecuencia de las reformas a la Ley de Aguas Nacionales en 1992 (DOF, 1992), éste órgano consultivo se transforma en el Consejo de Cuenca como un espacio formal de discusión y concertación para la toma de decisiones que afectan a la región. Su principal objetivo fue involucrar a los actores gubernamentales y usuarios del

agua en las decisiones y acuerdos relacionados con la distribución, calidad y cantidad del recurso hídrico.

AGOSTO DE 2000. El contexto derivado de los periodos de sequía registrados durante 1993-2003 y la alarmante disminución de los niveles de agua en el lago de Chapala, llevó al Consejo de Cuenca a acordar una revisión y actualización del modelo contenido en el *Acuerdo* de 1991.

En la consecución de la estrategia acordada a partir de los cuatro objetivos rectores del Consejo se han realizado varias acciones y proyectos que registran los avances que se describen a continuación:

Se implementó el *Programa de Saneamiento* en su dos primeras etapas (3) que comprende proyectos de alcantarillado y plantas de tratamiento (construcción, operación y rehabilitación) en zonas urbanas y rurales. El principal obstáculo ha sido la falta de recursos económicos y mecanismos de financiamiento para cubrir costos de operación y mantenimiento.

Se avanzó en el cálculo de la disponibilidad estatal de aguas superficiales, así como en el ordenamiento e integración de las demandas máximas permisibles por sistema usuario, lo que sirvió como base técnica para el *Acuerdo* de 1991. Posteriormente, de la revisión acordada en el 2000 y después de un gran número de sesiones, minuciosos estudios y amplios debates, ese acuerdo se substituyó por el *Convenio de Distribución de Aguas Superficiales* en diciembre de 2004². Aún queda pendiente el compromiso de transformar el Convenio de Coordinación, sujeto a la buena voluntad de los firmantes, en un reglamento de observancia obligatoria con las sanciones necesarias para asegurar su cumplimiento y promover mayor certidumbre entre los actores involucrados.

Por otro lado, el problema relacionado con la sobreexplotación de acuíferos se atendió con la creación de los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) cuyo objeto ha sido la reglamentación consensuada de su aprovechamiento para alcanzar y mantener su equilibrio³.

En relación con el uso eficiente del agua, durante el 2003 se implementó el Programa de Uso Eficiente de Agua para la Agricultura, cuyo fin principal fue resol-

ver el problema de déficit de aguas superficiales reduciendo el consumo en el uso agrícola a partir de la introducción de tecnología para riego en los Distritos de Riego de la cuenca. Sin embargo, si bien se obtuvieron resultados positivos, aún falta mucho para alcanzar el objetivo deseado. La modernización y tecnificación del riego es un asunto fundamental para reducir el déficit y el estrés hidrológico de la cuenca.

Respecto al manejo y conservación tanto de cuencas como de corrientes se decidió la aplicación de un programa piloto de manejo de microcuencas a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), seleccionando una microcuenca por estado. Actualmente este ejercicio piloto se ha empatado con el Programa Nacional de Microcuencas, dirigido por el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), a través del cual se realizan acciones de conservación de suelos y reforestación.

Con cinco sesiones del Consejo de Cuenca y 90 reuniones de trabajo del Grupo de Evaluación y Seguimiento (1989-2006), el Consejo de Cuenca ha recorrido un sinnúmero de experiencias que han contribuido a su consolidación, especialmente a partir de la necesidad del trabajo conjunto entre gobierno y sociedad para entender y atender la compleja problemática de la cuenca Lerma-Chapala.

¹ En este documento, se establecieron como estrategias para ordenar y reglamentar el uso del agua entre las entidades federativas las siguientes: ordenar el aprovechamiento del recurso, restablecer el equilibrio hidrológico del sistema, atender la demanda de acuerdo con la disponibilidad real y adecuar la operación de la infraestructura hidráulica.

² El nombre oficial es *Convenio de Coordinación y Concertación para llevar a cabo el Programa de Disponibilidad, Distribución y Uso de las Aguas Superficiales de Propiedad Nacional del Área Geográfica Lerma-Chapala*. Este convenio está basado en un algoritmo de distribución con el que se determina la Política Óptima Conjunta, la cual intenta optimizar el aprovechamiento del recurso cumpliendo con las restricciones ambientales (ver apartado de Górrón).

³ Actualmente existen 15 Comités Técnicos (COTAS) en la cuenca, 11 en el estado de Guanajuato, tres en Querétaro y uno en el estado de México.

Lago o embalse de Yurina.



FOTO: AGUAS NEGRAS



REGLAS DE ASIGNACIÓN DEL AGUA

Alberto Güitrón y Cipriana Hernández Arce

EL INCREMENTO DE LA DEMANDA de agua superficial en la cuenca Lerma-Chapala ha originado disputas por el recurso entre entidades federativas y entre los sectores usuarios, principalmente entre el uso agrícola y el uso ambiental en el lago de Chapala. Este conflicto se vio agravado en la década de los ochentas debido a varios años de baja precipitación que propiciaron un descenso progresivo del almacenamiento del lago.

Ante esta situación, el Consejo Consultivo de la Cuenca Lerma-Chapala encargó a un grupo de trabajo estudiar y proponer reglas de asignación del agua superficial en la cuenca. Es así como, en 1991, entra en vigor un acuerdo sobre aguas superficiales con el objetivo de lograr una distribución equitativa y justa entre los usuarios y los estados, recuperar el equilibrio hidrológico de la cuenca y preservar el lago de Chapala (CNA, 1991).

El acuerdo define, entre otras cosas, reglas de asignación del agua para cada distrito de riego y siste-

mas de pequeña irrigación de la cuenca, con base en los escurrimientos vírgenes generados en la cuenca e integrados a nivel estado en el año antecedente, y el nivel observado del lago de Chapala. Las reglas de asignación se derivaron de una serie de simulaciones del sistema hidrológico, considerando como periodo de simulación el registro histórico de escurrimientos que va de 1950 a 1979.

El principal logro de este acuerdo es haber frenado, hasta cierto punto, el crecimiento del uso agropecuario de agua superficial en la cuenca y el haberse mantenido como un instrumento jurídico de voluntades, único en su tipo. Sin embargo, su aplicación no resolvió de fondo el problema del descenso acelerado de los niveles del lago, ya que éste volvió a presentar un descenso sostenido en su almacenamiento durante el periodo 1994-2000. Dicho comportamiento evidenció una serie de debilidades, entre las que destacan (Mestre, 2001): una sobreestimación de la disponibilidad del agua superficial debido a datos hidrológicos insuficientes; una subestimación de áreas irrigadas en tamaño y extracción de agua, especialmente en áreas de pequeño riego; una sobreestimación de los escurrimientos superficiales por la construcción de nuevos embalses; un debilitamiento en la disciplina de distribución del recurso donde existen usuarios ilegales, o por la entrega de más agua de la autorizada; la imposibilidad de detectar usuarios de agua clandestina; el sobrealmacenamiento de los embalses del sistema, que impide que los escurrimientos extraordinarios fluyan aguas abajo hacia el lago de Chapala; una subvaluación en el cálculo de la evaporación del lago que implicó una asignación mayor a usos aguas arriba; una política de distribución no adecuada en condiciones de escasez, producto de la utilización de una traza histórica de escurrimientos de un periodo relativamente húmedo (1950-1979); una falta de control de los volúmenes de agua utilizados por las Urderales; una baja importante de precipitación en los últimos diez años en la cuenca y, un mayor grado de aprovechamiento del agua de la cuenca por crecimiento de la frontera agrícola, básicamente de pequeño riego.

Ante esta nueva situación crítica, en 2002 el Consejo Consultivo de la Cuenca Lerma-Chapala

instruyó al Grupo de Ordenamiento y Distribución (GOD) para que revisara el acuerdo de distribución de 1991, de tal forma que se pudieran solventar las deficiencias identificadas y eventualmente se formularan nuevas reglas de asignación. El IMTA, bajo contrato con la CONAGUA, participa en ese momento con el GOD como facilitador, desarrollador y operador del modelo de simulación denominado *Lerma*, el cual emerge, en el seno del GOD, como herramienta de análisis para la exploración y evaluación de escenarios futuros y, junto con un modelo de optimización denominado *Simop*, desarrollado también por el IMTA, se genera un conjunto de nuevas políticas de asignación. Después de un arduo trabajo de discusión y análisis en el GOD, se definió finalmente una nueva política de asignación que sustituye a la anterior, firmándose para ello, en 2004, un Convenio de Coordinación y Concertación de la cuenca, en donde quedan especificadas las nuevas reglas de asignación de sus aguas superficiales.

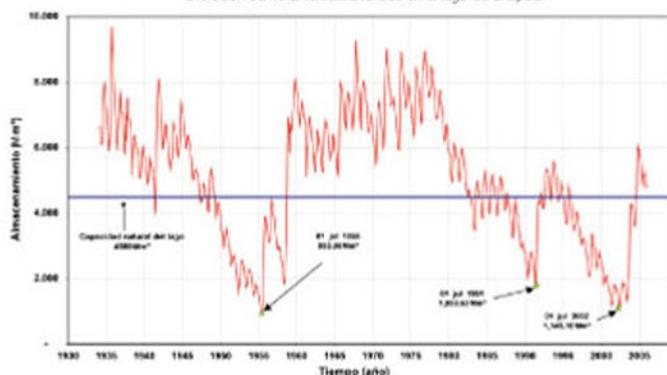
Este convenio subsana en buena parte muchas de las debilidades del anterior y logra establecer una regla de asignación basada: (1) en un periodo mayor de análisis de 52 años, de 1947 a 1998, que incluye registros hidrometeorológicos extremos; (2) en criterios de garantía para el riego y para el lago, que asegura, por un lado, el suministro del 50% del volumen anual concesionado para riego y, por otro, asegura un almacenamiento de, por lo menos, 1,500 hm³ para el lago de Chapala; (3) en una condición de no sobrealmacenamiento en las presas del sistema; (4) en una distribución de agua superficial por subcuenca y no por región político-administrativa; (5) en una corrección del cálculo de la evaporación del lago de Chapala; (6)

en una práctica de asignación dependiente de los niveles del lago sólo en los distritos o sistemas de pequeño riego ligados directamente a él; (7) en herramientas analíticas como son los modelos de simulación y de optimización, los cuales dieron flexibilidad y claridad a las negociaciones; y por último, (8) en una documentación total de datos, algoritmos y acuerdos de todo el proceso de gestión del agua en la cuenca.

Se puede afirmar que el acuerdo de distribución de las aguas superficiales de la cuenca Lerma-Chapala de 1991 y el Convenio de Coordinación de la cuenca del 2004, representan la aplicación de un proceso de gestión integrada del agua en México. Proceso sustentado por una parte con herramientas de modelación matemática, que han permitido ordenar el proceso, dar objetividad a las discusiones y conducir a la construcción de un consenso en la toma de decisiones y por otra parte, apoyado con voluntad política, disposición al diálogo y recursos económicos.

Para avanzar en la gestión integrada del agua en la cuenca es necesario introducir al proceso un mejor conocimiento del comportamiento hidrológico de la misma y mejores estrategias de negociación, así como incorporar en la modelación aspectos de calidad del agua, de manejo de los acuíferos y ambientales en general.

Evolución del volumen almacenado en el lago de Chapala



PARTICIPACIÓN DE LA SOCIEDAD CIVIL

Sergio Vargas Velázquez

EN LOS ÚLTIMOS TRES LUSTROS se ha transformado profundamente la gestión del agua, al diluirse el enfoque que instituía al gobierno federal como el principal actor cuyo papel era asegurar la oferta de agua a través de la centralización del gasto público y las decisiones. Desde 1990 se inicia la transición hacia una gestión del agua por cuenca hidrológica con base en la descentralización y descentralización de las acciones gubernamentales, para llevar a cabo una mejor gestión de la demanda —mejorando las formas en que se aprovecha y regula el uso del agua— y enfrentar la problemática de cada región hidrológica desde los principios del desarrollo sustentable. La ampliación de funciones y recursos de las administraciones locales y estatales, así como la organización de los usuarios del agua, les ha permitido influir más en las decisiones que los afectan o benefician.¹

La participación social en la gestión del agua consiste en todas aquellas actividades a través de las cuales los individuos o grupos organizados de muy diversas maneras —como parte de un grupo de interés (industriales, agricultores, ganaderos) o de movimientos sociales (ambientalistas, habitantes de la

ribera de un lago, organizaciones étnicas)— contribuyen directa o indirectamente a la gestión del recurso. Esta participación tiene distintas intensidades y direcciones, en tanto existe o no la posibilidad real de influir en las decisiones de mayor importancia que se toman en el ámbito del gobierno. Las acciones sociales pueden ir desde la asistencia a reuniones informativas, la expresión a través de la opinión pública, hasta la movilización en mítines o manifestaciones con el fin de que sus puntos de vista e intereses sean tomados en cuenta. Lo más importante para la gestión descentralizada del agua por cuenca es integrar apropiadamente las acciones gubernamentales con las formas en la que los distintos grupos sociales son capaces de expresar sus puntos de vista, sus necesidades y expectativas respecto al agua, incorporando a representantes de la diversidad de la sociedad civil en el diseño, implementación o monitoreo de la política del agua.

Una de las acciones gubernamentales que impulsó la participación de los agricultores en la gestión del agua fue la transferencia de la operación y el mantenimiento de los distritos de riego a asociaciones de usuarios. En las zonas más desarrolladas —como es el Bajío— fue donde primero aceptaron y se organi-

zaron los agricultores. Los últimos sistemas en ser transferidos fueron aquellos en donde predomina la agricultura campesina de subsistencia, y sólo después de largas negociaciones y tensiones.² Aunque fue un proceso organizado desde el gobierno federal, estas asociaciones se han convertido poco a poco en las instancias más importantes para la participación y la representación de los agricultores. Al mismo tiempo, se impulsó la formación de las comisiones estatales de agua y saneamiento, y la consolidación de los organismos operadores de agua potable y alcantarillado como entidades paramunicipales. De igual manera, en los últimos años se han desarrollado diversas organizaciones no gubernamentales que defienden la recuperación ambiental de la cuenca.

La sociedad civil, conformada por una gran diversidad de grupos e intereses, se ha involucrado cada vez más en la problemática de la cuenca a partir del conflicto por el agua superficial ocurrido durante la segunda crisis del lago de Chapala (1999-2003), en la que se redujo hasta en un 14% el volumen del lago.³ Este conflicto llevó a que los distintos grupos sociales pasaran de una actitud pasiva a una participación activa, y se iniciaran relaciones horizontales entre ellas a través de la realización de un gran

número de reuniones de discusión y reflexión respecto a la problemática ambiental de la cuenca.

Existen todavía numerosas dificultades para que la diversidad de intereses económicos, políticos y sociales sean incorporados adecuadamente en el actual arreglo institucional. Entre los aspectos más discutidos están el carácter consultivo del consejo de cuenca, la baja representatividad de sus miembros y la poca comunicación con los actores sociales locales. Los numerosos conflictos y la complejidad para regular el uso del agua plantean la necesidad de re-legitimar la política del agua a través de mecanismos claros de consulta a los representados y de rendición de cuentas de los representantes

¹ Un balance de esta transición en la gestión del agua por cuenca y en los aspectos todavía problemáticos respecto a la participación social, se puede encontrar en Góngole *et al.*, 2001; Chapter 34, Carabias *et al.*, 2005, pp. 139-145 y Vargas y Mollari, 2005.

² Este es el caso del r0033 del estado de México, particularmente del módulo Tuxtla que abarca poco más de 9 mil hectáreas (Guzmán *et al.*, 2002).

³ La primera crisis del lago de Chapala ocurrió entre 1948 y 1957 (Sandoval, 1981).



J.R.V.

SALAMANCA

3ª Porfirio Diaz



LA RED NACIONAL DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA

Enrique Mejía Maravilla, Jesús García Cabrera, Martha Leticia Otero López, Alicia Vázquez Martínez y Javier Miramontes Navarro

Las actividades de observación sistemática de la calidad del agua del país, realizadas actualmente a través de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RNMCA), se han venido llevando a cabo desde 1974. En ese año se implementó un primer programa de seguimiento periódico de la calidad de las aguas nacionales, que comprendía 239 sitios de monitoreo para la toma de muestras, repartidas en 14 regiones o zonas de trabajo, cada una con un laboratorio. Desde sus inicios, la administración de la RNMCA estuvo a cargo de la Oficina Central, actualmente Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua de la Subdirección General Técnica de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La participación de las oficinas regionales y estatales en los últimos años (Gerencias Regionales y Estatales de la CONAGUA), se ha limitado a la generación de información (toma y análisis de muestras) con poca o nula participación en los aspectos de planeación, manejo y análisis de la información. El balance de los sitios

de monitoreo que han operado en la Red Nacional de Monitoreo se observa en la Tabla 1. Estos sitios están distribuidos en los componentes de:

- Red Primaria en aguas superficiales, zonas costeras y aguas subterráneas.
- Red Secundaria en aguas superficiales, zonas costeras y aguas subterráneas.
- Estudios Especiales en aguas superficiales, zonas costeras y aguas subterráneas.

Para el diagnóstico de la calidad del agua se han empleado algunos indicadores, por ejemplo, desde 1974 el Índice de Calidad del Agua (ICA) ha sido útil. Este muestra el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como un porcentaje del agua limpia; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero y para el agua en excelentes condiciones, cercano a 100.

Se consideran cinco categorías y 18 parámetros para determinar el ICA: 1) cantidad de materia orgánica, medida como demanda bioquímica de oxígeno

(DBO) y oxígeno disuelto (OD); 2) cantidad de organismos bacterianos, medida como coliformes fecales (CF) y totales (CT); 3) materia iónica, medida por la alcalinidad (A), dureza total (DT), cloruros (Cl), conductividad eléctrica (CE), concentración de iones hidrógeno (PH), grasas y aceites (GA), sólidos suspendidos (SS) y sólidos disueltos (SD); 4) nutrientes, medidos como nitrógeno en forma de nitratos (NO_3) y amonio (NH_4), fósforo en forma de fosfatos (PO_4) y detergentes (DR), medidos como sustancias activas al azul de metileno, SAAM; 5) finalmente las características físicas medidas por medio del color (C) y la turbiedad (T). El oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno son los parámetros de mayor peso en el valor del ICA.

A partir de 2003, con la finalidad de obtener una mejor evaluación de la calidad del agua, la Comisión Nacional del Agua dejó de reportar el ICA y substituyó éste por un nuevo índice, que considera la mayoría de las condiciones de las estaciones de medición de la RNMCA. Actualmente se utilizan como indicadores de calidad del agua, la Demanda Bioquímica

Año	Nº Sitios	Año	Nº Sitios
1982	415	2000	744
1988	786	2001	1014
1995	803	2002	892
1996	732	2003	912
1997	729	2004	964
1998	743	2005	912
1999	672	2006	1026

Tabla 1 Número de estaciones de monitoreo en operación a nivel nacional en el periodo 1982-2006.

de Oxígeno a cinco días (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), debido a que estas variables muestran la influencia antropogénica desde el punto de vista de la afectación por la presencia de centros urbanos e industriales, los que por sus características producen desechos líquidos de diferente calidad.

Otro de los contaminantes evaluados por su presencia constante en los cuerpos de agua son los fosfatos provenientes de los compuestos fosforados,



Estación de monitoreo en el embalse o lago de Yumá.

que se aplican como fertilizantes en zonas agrícolas o se utilizan en la fabricación de detergentes. En algunos países se considera que el límite máximo de concentración de nutrientes para prevenir el desarrollo de especies macrófitas invasivas y algas para de esta forma controlar la eutrofización acelerada de ríos y arroyos, debe ser menor a 0.075 mg/L de fósforo total (USEPA, 2000). La norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997) permite descargas hasta de 30 mg/L de fósforo total para los ríos. En el caso de los nitratos, se establece como concentra-

ción máxima 0.2 mg/L para el agua de abastecimiento de acuerdo con la norma (DOF, 1989).

EL MONITOREO DEL AGUA EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA

La región VIII, denominada Lerma-Santiago-Pacífico, localizada en la zona centro-oeste del país, se extiende principalmente por los estados de Jalisco (40%), Guanajuato (14%), Zacatecas (14%), Michoacán (13%) y Nayarit (9%); y en menor proporción por

el estado de México (3%), Aguascalientes (3%), Colima (3%) y Querétaro (1%). A su vez, el sistema hidrográfico de las subregiones Lerma y Santiago está constituido principalmente por los ríos Lerma y Santiago, así como por el lago de Chapala.

El río Lerma funciona como colector principal con una longitud aproximada de 705 kilómetros; en su recorrido se integran como tributarios principales los ríos La Gavia, Jaltepec, Laja, Silao, Guanajuato, Turbio, Angulo y Duero, que descargan al final en el lago de Chapala, el vaso natural interior de mayores dimensiones en el país y en donde también descargan los ríos La Pasión y Zula. En 2006 la Gerencia Regional Lerma-Santiago Pacífico opera con 224 sitios de monitoreo con cobertura de los siguientes cuerpos de agua: arroyo el Cubo y arroyo Mezapa; esteros El Pozo, San

Cristóbal y El Varadero; lago de Chapala, lago de Cuitzeo, lago de Pátzcuaro, laguna de Almoloya del Río; presas Abelardo Rodríguez, Cajón Peñas, Jocoqui, El Niágara, El Palote, Los Arquitos, Malpaso, Markaznza, Media Luna y Plutarco Elias Calles; ríos Aguascalientes, Ameca, Angulo, Armería, Ayuquila, Bolaños, Calvillo, Chacala, Cihuatlán, Coahuayana, Compostela, Cuale, Duero, Grande de Morelia, Ixtlán, Jeréz-Colotlan, Juchipila, La Laja, Lagos, Lerma, Marabasco, Mololoa, Querétaro, Salado, San Miguel, San Pedro, Santiago,

Tamazula, Tlaltenango, Turbio, Tuxcacuesco, Valparaíso, Verde y Zula; sistema lagunario del estero El Chupadero; acuíferos de Atemajac, Colima, Jalisco-Tapeixtles, Lagos de Moreno, Pénjamo-Abasolo, Puerto Vallarta, Tepetitlán, Toluquilla, Valle de Aguascalientes, Valle de Calvillo, Valle de Celaya, Valle de Chicalote, Valle de León, Valle de Matatipac, Valle de Querétaro, Valle de Toluca y Venadero.

Los análisis requeridos para el diagnóstico de la calidad del agua en la región se realizan en el laboratorio de la Gerencia Regional ubicado en el estado de Jalisco, así como también en los laboratorios estatales localizados en Guanajuato, Michoacán y estado de México.

EL PROGRAMA DE MODERNIZACIÓN DEL MANEJO DEL AGUA (PROMMA)

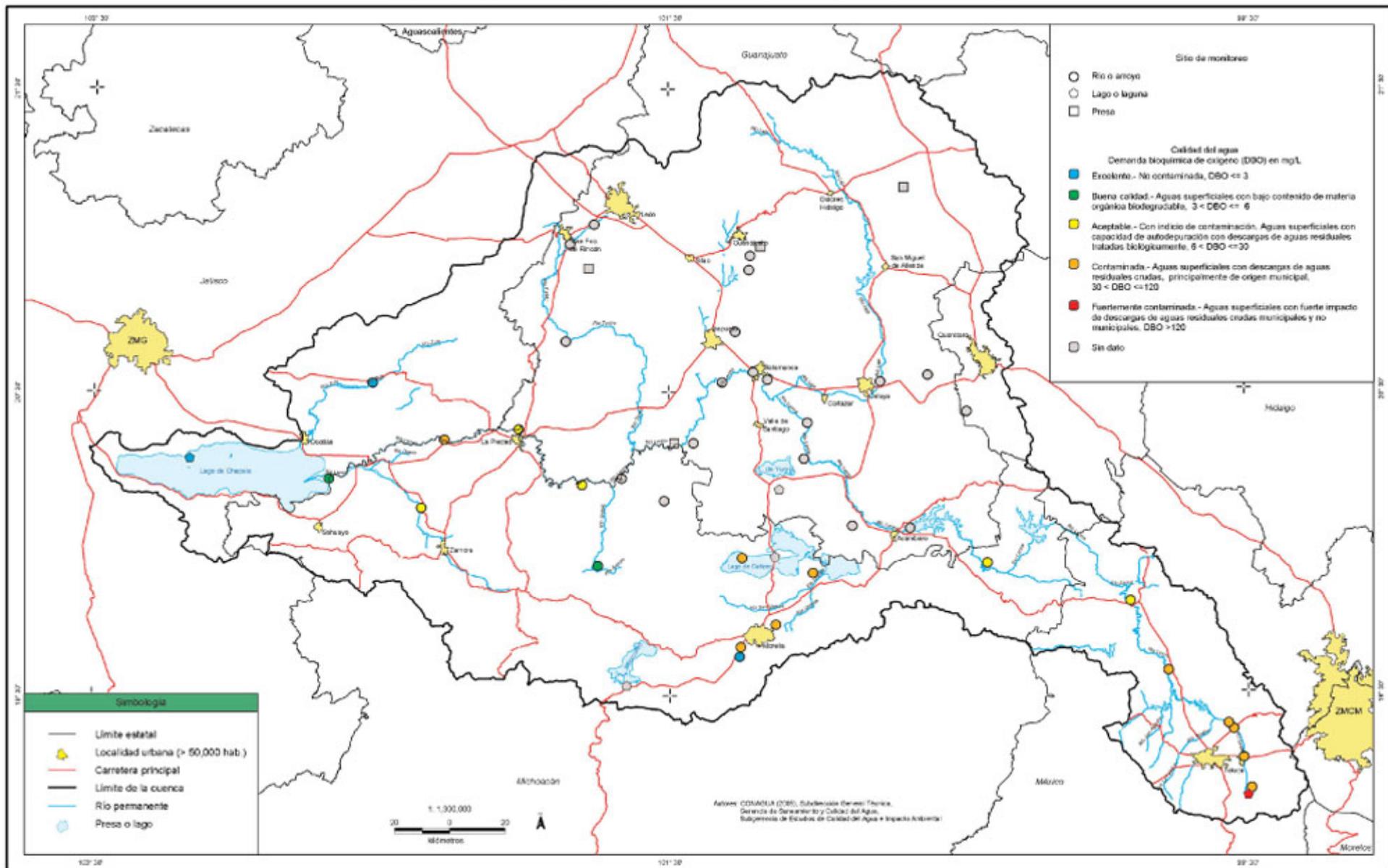
Tiene como principal objetivo rediseñar e implementar un programa moderno de monitoreo de la calidad del agua orientado a proporcionar información que satisfaga las necesidades específicas de la administración del recurso, que sea eficiente en términos de costos, y que refleje los distintos tipos de problemas ambientales a los que se enfrenta México en el presente, considerando relevantes la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, así como la toxicidad de diversos compuestos considerados contaminantes. Las actividades del programa se enfocaron hacia el mejoramiento:

- Del sistema nacional de monitoreo del agua.
- De la red de laboratorios nacionales.
- Del sistema de información de la calidad del agua.

La reestructuración y modernización promovida por el Programa de Modernización del Manejo del Agua ha consistido en el fortalecimiento de los laboratorios regionales y estatales, el suministro de equipos de campo y laboratorio, así como la capacitación técnica del personal de laboratorio y monitoreo, desarrollando por ello una estructura más sólida para la obtención de información de calidad del agua oportuna y confiable.



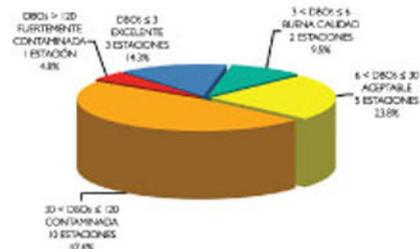
CALIDAD DEL AGUA CON BASE EN LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO, 2005



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

Enrique Mejía Maravilla, Fernando Rosales Cristerna, José Alfredo Rojas García y Carolina Molina Segura

Ribera del lago de Chapala, en Ajijic.

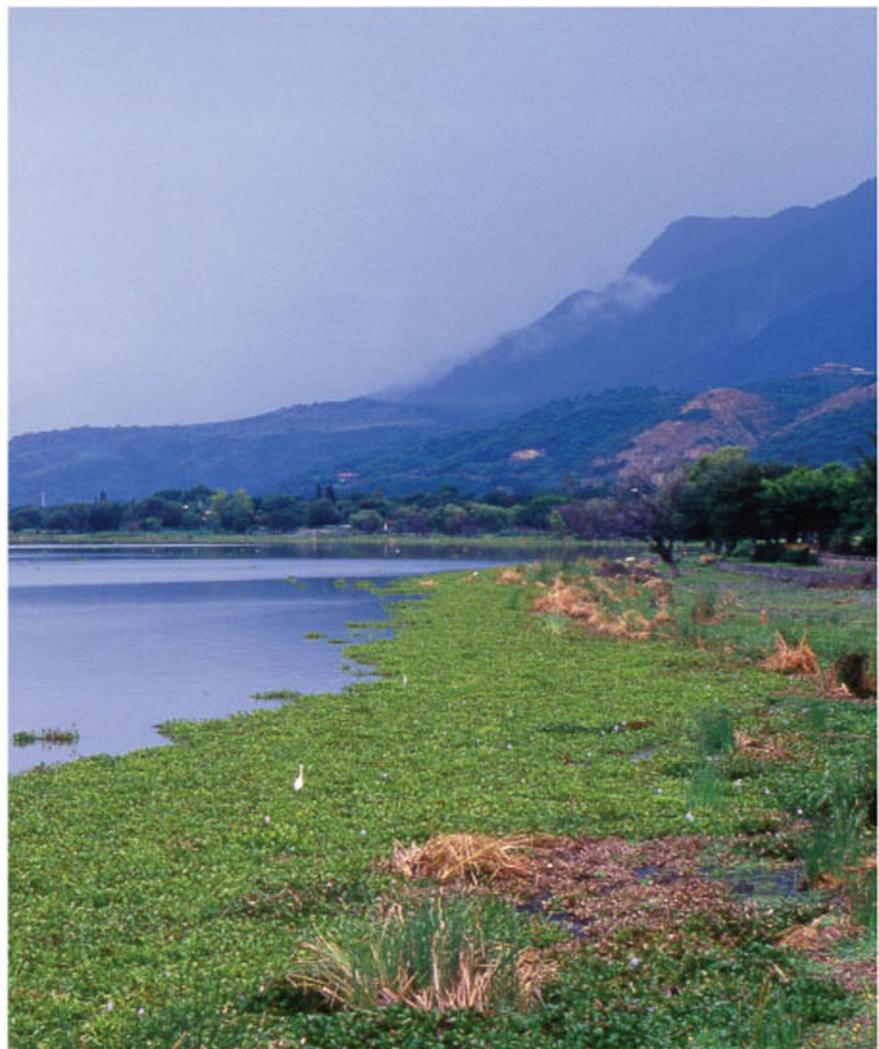


LA COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA utiliza dos parámetros indicadores para evaluar la calidad del agua en la cuenca Lerma-Chapala: la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO), que muestran la influencia antropogénica desde el punto de vista de la afectación del agua por la presencia de centros urbanos e industriales (que por sus características producen desechos líquidos de calidad diferenciada). Estos parámetros permiten reconocer gradientes que van desde una condición relativamente natural o sin influencia de la actividad humana, hasta agua que muestra indicios o aportaciones importantes de descargas de aguas residuales municipales y no municipales. A continuación se muestran las escalas de clasificación correspondientes.

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	COLOR
DBO ₅ ≤ 3	EXCELENTE No contaminada	AZUL
3 < DBO ₅ ≤ 6	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	VERDE
6 < DBO ₅ ≤ 30	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	AMARILLO
30 < DBO ₅ ≤ 120	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	NARANJA
DBO ₅ > 120	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	ROJO

Escala de clasificación de la calidad del agua conforme a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

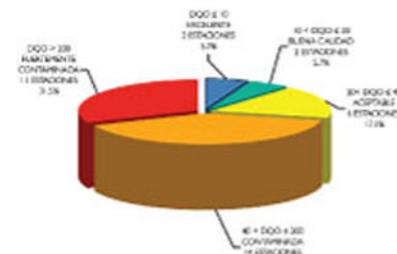
Fuente: Subdirección General Técnica, CONAGUA.



FOTOTE: ALVARO TORRES

CRITERIO	CLASIFICACIÓN	COLOR
$DQO \leq 10$	EXCELENTE No contaminada	AZUL
$10 < DQO \leq 20$	BUENA CALIDAD Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable	VERDE
$20 < DQO \leq 40$	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	AMARILLO
$40 < DQO \leq 200$	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	NARANJA
$DQO > 200$	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas, municipales y no municipales	ROJO

Escala de clasificación de la calidad del agua, conforme a la Demanda Química de Oxígeno (DQO).
Fuente: Subdirección General Técnica, CONAGUA.



En el año 2005, la Red Nacional de Monitoreo reportó la operación de 47 estaciones ubicadas en diferentes cuerpos de agua de la cuenca Lerma-Chapala. La evaluación de la calidad del agua con base en la DBO₅ se realizó con 21 estaciones de monitoreo que cuentan con información para este parámetro. De acuerdo a este análisis, el 14.3% de las estaciones tiene una calidad excelente, 9.5% buena calidad, 23.8% aceptable, 47.6% contaminada y 4.8% fuertemente contaminada.

De acuerdo con los resultados de las evaluaciones de la calidad del agua en el año 2005, la laguna de Almoloya del Río tiene una estación de monitoreo con una concentración por encima de los 120 mg/L de DBO₅. Los cuerpos de agua con estaciones de monitoreo entre 30 y 120 mg/L de DBO₅ son parte alta del río Lerma en el estado de México y río Grande de Morelia. Los cuerpos de agua con estaciones de monitoreo con excelente calidad son río Zula, lago de Chapala y el río Grande de Morelia. En términos de este parámetro se puede indicar que el río más importante de la cuenca, el río Lerma, se encuentra fuertemente contaminado en la parte

alta, estado de México, mejorando su calidad hacia la parte media y baja.

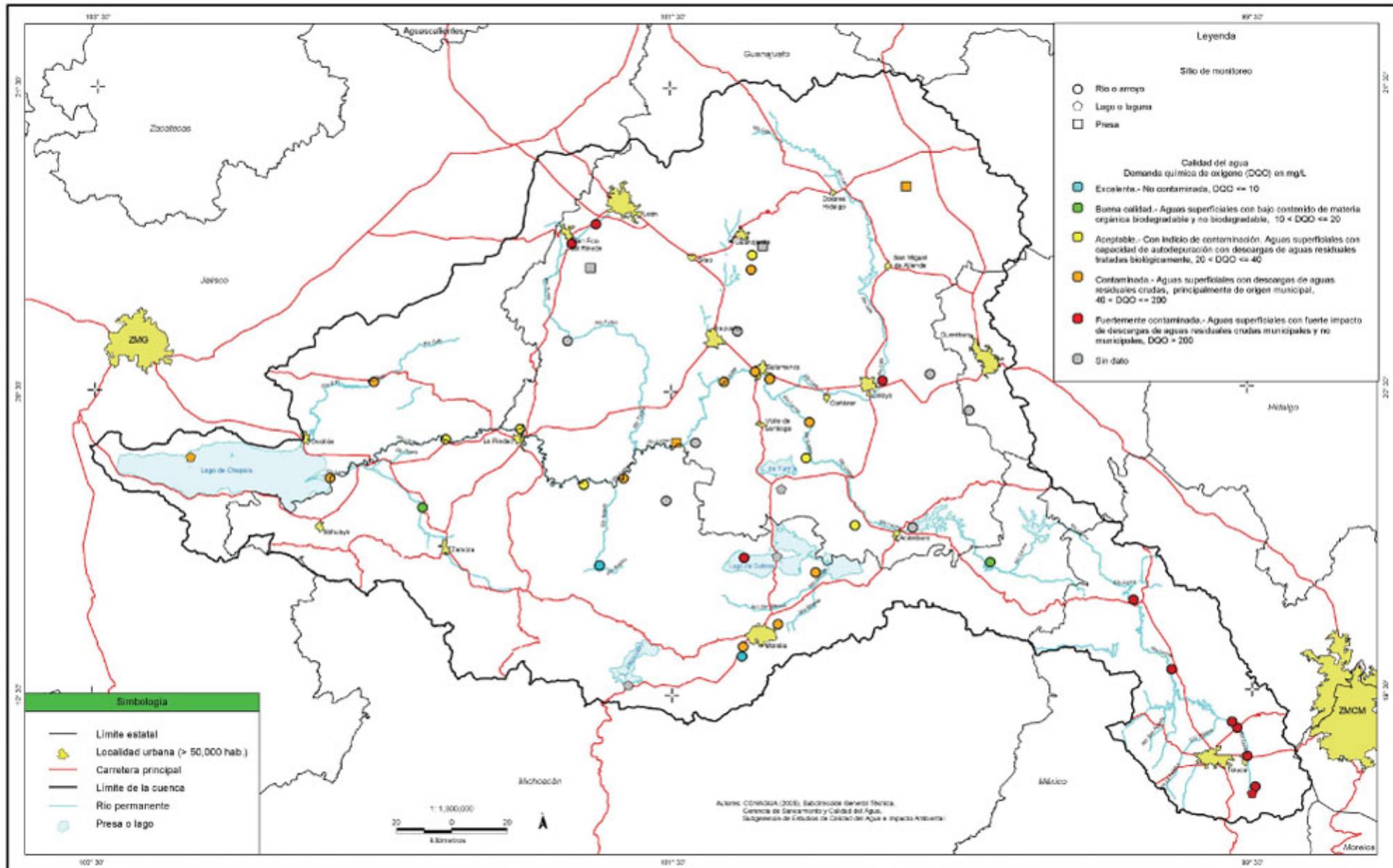
La evaluación de la calidad del agua correspondiente al año 2005 para la DQO se realizó con 35 estaciones de monitoreo que cuentan con esa información. De acuerdo a este análisis, el 5.7% de las estaciones tiene una calidad excelente, 5.7% buena calidad, 17.1% aceptable, 40.0% contaminada y 31.5% fuertemente contaminada.

Para el año 2005 los cuerpos de agua de la cuenca incrementan su nivel de contaminación en comparación con la DBO₅, lo que es indicativo de presencia de descargas de tipo industrial. Los cuerpos de agua que tienen estaciones de monitoreo con niveles de DQO por encima de 200 mg/L son río Turbio, río La Laja, parte alta del río Lerma y la laguna de Almoloya del Río. La parte media del río Lerma y el río Grande de Morelia presentan estaciones con niveles de DQO entre 40 y 200 mg/L, con una calidad considerada como contaminada. El río Lerma mejora su calidad para este parámetro en la parte baja, donde presenta niveles entre 20 y 40 mg/L.



FOTO: DANIELA FERRER

CALIDAD DEL AGUA CON BASE EN LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO, 2005



MARCO INSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA

EL CONOCIMIENTO DEL MARCO INSTITUCIONAL en materia ambiental adquiere relevancia en la medida que determina las reglas del juego; tratándose éstas de la asignación de derechos de propiedad (acceso) y las formas de apropiación (aprovechamiento) de los recursos naturales. Asimismo, permite una identificación de las atribuciones y obligaciones de las principales instituciones gubernamentales a cuyo cargo queda el diseño y la implementación de la política ambiental. El marco legal, las relaciones intergubernamentales, así como sus principales conflictos, son sistematizados en este capítulo.





PRIMER ACUERDO DE COORDINACIÓN AMBIENTAL PARA LA CUENCA LERMA-CHAPALA

Georgina Caire Martínez

EL 22 DE MARZO DE 2004 se firmó en la ciudad de Querétaro el *Acuerdo de Coordinación para la Recuperación y Sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala* suscrito por los Gobernadores de los estados que forman parte de la cuenca y el Gobierno Federal, con la asistencia de los titulares de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, la Comisión Nacional Forestal y la Comisión Nacional del Agua.

Este acuerdo se desprende del *Programa Hidráulico Regional 2000-2006 Región VIII Lerma Santiago Pacífico* y del *Programa Maestro para la Recuperación y Sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala*, ambos con la finalidad de proponer las estrategias para alcanzar un mejor aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca para el beneficio social y económico de sus habitantes.

Con este instrumento se pretende promover consensos sobre soluciones integrales a los problemas relacionados con la gestión de los recursos hídricos (disponibilidad, abasto y calidad), atendiendo también los problemas derivados de la contaminación y

degradación de suelos, deforestación y pérdida de la biodiversidad. De este modo, se espera fomentar la cooperación entre los actores gubernamentales para orientar programas y presupuestos institucionales (acción pública) atendiendo las necesidades de restauración y preservación de suelo y vegetación como elementos indispensables para recuperar el funcionamiento natural del ciclo hidrológico en la cuenca.

El acuerdo tiene como objetivo principal establecer compromisos entre las partes para concretar acciones, coordinadas o independientes, que contribuyan a la recuperación y sustentabilidad, desde un enfoque de manejo integral de la cuenca. Para ello, se establecen como base cuatro ejes de acción:

MARCO JURÍDICO INSTITUCIONAL

Acciones para impulsar las adecuaciones al marco jurídico para fortalecer las acciones públicas en materia de agua a partir de una reasignación de funciones, atribuciones y recursos, así como de la consolidación de sus instituciones: Consejos de Cuenca y Acuerdos de Distribución.

SISTEMAS DE MEDICIÓN E INFORMACIÓN DEL AGUA

Acciones para modernizar la medición piezométrica, hidroclimatológica e hidrométrica, así como el diseño e implementación de un sistema de información adecuado a las necesidades de gestión ambiental de la cuenca.

SUSTENTABILIDAD Y ADMINISTRACIÓN DEL AGUA

Acciones orientadas a incrementar la cobertura del agua potable, la eficiencia en la administración regional y local del agua y la gestión de las aguas subterráneas. Asimismo, se incluyen acciones para promover una agricultura sustentable y la promoción de un Banco de Agua para que, a través de la regulación de la transmisión de derechos sobre el agua se contribuya al equilibrio hidrológico de la cuenca.

REHABILITACIÓN ECOLÓGICA

Acciones para fomentar la protección ambiental y el equilibrio ecológico derivadas de políticas e instrumentos para promover un mejor aprovechamiento de los recursos naturales, especialmente vegetación

y suelo. Aquí también se incluyen acciones para promover el saneamiento de las aguas residuales municipales, industriales y pecuarias, así como el abatimiento de contaminación generada por residuos sólidos municipales.

Las acciones que se desprendan de este acuerdo se implementarán a partir de instrumentos denominados *Anexos de Ejecución* que deberán ser suscritos entre las partes involucradas atendiendo el ámbito de competencias de cada entidad jurídica y respetando la normatividad aplicable. Para llevar a cabo la operacionalización del acuerdo, se creó el Grupo Auxiliar de Sustentabilidad derivado del Grupo de Seguimiento y Evaluación del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala, con el propósito expreso de impulsar y coordinar la creación de los anexos de ejecución bajo una visión de integralidad, así como para certificar el seguimiento y la evaluación de los resultados de las acciones realizadas.

En términos de cumplimiento y vigencia, este acuerdo de coordinación es definido como un acuerdo de "buena fe", por lo cual se establece que no existirán sanciones sobre incumplimiento del mismo y que, en caso de ser necesario, las controversias o interpretación de su contenido se deberán

resolver y conciliar de común acuerdo. Por otro lado, la vigencia de este instrumento queda determinada por motivos de imposibilidad económica, acuerdo mutuo o voluntad de una de las partes.

El referendo del *Acuerdo de Coordinación para la Recuperación y Sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala* significa un gran avance en la medida que implica un reconocimiento de los actores gubernamentales sobre la necesidad de actuar coordinadamente para orientar los programas públicos del sector hacia la recuperación ambiental de la cuenca. Sin embargo, todavía falta avanzar en lograr acuerdos para resolver los problemas prioritarios de la región en términos de funcionalidad ambiental. En este sentido, es imprescindible definir, a través de un proceso de planeación adecuado, cuáles son aquellos problemas prioritarios de deforestación, erosión y/o contaminación de suelos y agua que implican un impacto en el contexto regional y alcanzan a perjudicar el ciclo hidrológico en la cuenca. Sólo las acciones derivadas a partir del uso de este tipo de criterios permitirán avanzar en términos de coordinación y congruencia de la acción pública en la aplicación de soluciones integrales a los problemas ambientales de esta región.



FOTO: ALVARO BOLANOS

MARCO LEGAL PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA

Georgina Caire Martínez

LA CONSTITUCIÓN POLÍTICA de los Estados Unidos Mexicanos establece que la propiedad de los recursos naturales corresponde a la Nación, siendo el Poder Ejecutivo Federal el responsable de su regulación, manejo y aprovechamiento. En agosto de 1987 se realizaron reformas a los artículos constitucionales 27 y 73, constituyendo el sustento legal para la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

El principal objetivo de la LGEEPA es la asignación de atribuciones y distribución de competencias entre la federación, los estados y los municipios, orientadas a la preservación y conservación del equilibrio ecológico. En ella se establecen los instrumentos de política ambiental a partir de los cuales se espera garantizar el aprovechamiento sustentable de suelo y agua, la prevención y el control de la contaminación y la protección de la biodiversidad.

La delimitación geográfica de la cuenca Lerma-Chapala comprende parcialmente el territorio de cinco entidades federativas, como son el estado de México, Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Querétaro. Como parte de la federación, estos estados, libres y soberanos, cuentan con un gobierno republicano (división de poderes) y representativo, facultado para formular e implementar sus propias

políticas y programas, incluyendo aquéllas en materia ambiental. En consecuencia, en cada uno de estos estados rige una ley para el equilibrio ecológico y la protección ambiental, una ley estatal de aguas, otra para el desarrollo de la actividad forestal y otra para la gestión integral de residuos sólidos. Con excepción del caso de las aguas de jurisdicción federal, en las que se utiliza la cuenca como unidad de gestión, el marco legal para la gestión ambiental se aplica atendiendo los límites político-administrativos entre estados y municipios.

Las principales leyes federales y estatales que constituyen el marco legal para regular las acciones humanas en relación con los recursos naturales y que son aplicables dentro de la superficie que ocupa la cuenca Lerma-Chapala en materia de recursos forestales, biodiversidad y suelo, son las siguientes:

Este conjunto de leyes reúne las principales reglas que determinan u orientan el acceso, uso y aprovechamiento de los recursos naturales. En principio, pretenden definir las atribuciones y obligaciones de las dependencias y entidades del gobierno federal, así como otorgar la facultad expresa para establecer mecanismos de coordinación entre entidades jurídicas mediante el establecimiento de convenios específicos, tanto entre órdenes de gobierno como con actores del sector privado. En un segundo momento, estas leyes constituyen una plataforma para la creación de incentivos que orienten las acciones de la sociedad en su conjunto hacia un desarrollo sustentable; y finalmente, reúnen las bases para establecer los derechos y obligaciones para el ejercicio de las actividades del sector privado y social.

RECURSOS FORESTALES

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable se distingue por ser producto de un amplio consenso entre los actores del sector. Su aprobación se realizó por unanimidad del Congreso de la Unión en diciembre de 2002, sustituyendo a la Ley Forestal de 1992. El fin último de esta ley es propiciar la conservación, protección, restauración, producción, cultivo, manejo y aprovechamiento adecuado de los ecosistemas forestales del país y sus recursos. Para

ello, este instrumento delinea como estrategia principal el contribuir al desarrollo social, económico y ambiental de pueblos, comunidades y propietarios, mediante el manejo sustentable de los recursos forestales, salvaguardando y promoviendo en todo momento los bienes y servicios ambientales provenientes de dichos recursos.

Con este propósito, la ley distribuye las competencias en materia forestal entre la federación, los estados y los municipios y establece los espacios y mecanismos para la adecuada coordinación entre

dependencias gubernamentales y niveles de gobierno. Este nuevo marco legal para el desarrollo de la actividad forestal simplifica trámites e impulsa la transparencia en la aplicación de recursos públicos, incrementa las sanciones a las actividades ilegales y mejora el sistema de vigilancia y monitoreo en coordinación con estados y municipios e incluso, con las comunidades mismas.

Una contribución de gran importancia de este instrumento es la regulación de servicios ambientales y la instauración de las bases legales para el estableci-

DISTRIBUCIÓN DE COMPETENCIAS QUE ESTABLECE LA LGEEPA

	FEDERACIÓN	ESTADOS	MUNICIPIOS
Formulación e implementación de política ambiental	Nacional	Estatal Programa estatal de protección al ambiente	Municipal Programa municipal de protección al ambiente. Atención de impactos ambientales derivados de la producción de bienes y servicios públicos municipales
Agua	Regulación y aprovechamiento de aguas federales, su protección y preservación	Regulación y aprovechamiento de aguas estatales, su protección y preservación	Prevención y control de contaminación de aguas residuales de centros de población
Coordinación	Afectación del equilibrio ecológico en dos o más entidades federativas	Afectación del equilibrio ecológico en dos o más entidades federativas, cuando lo consideren conveniente	Afectación del equilibrio ecológico con impacto ambiental en su territorio
Gestión de residuos sólidos	Materiales y residuos peligrosos para el ambiente	Regulación de la gestión de residuos sólidos no peligrosos	Aplicación de regulación en la gestión de residuos sólidos no peligrosos
Información ambiental	Sistema Nacional de Información Ambiental	Política de información y difusión estatal	Política de información y difusión municipal
Instrumentos de política • Ordenamiento Ecológico Áreas Naturales de Protección • Evaluación de Impacto Ambiental • Normas Oficiales Mexicanas • Instrumentos económicos	Formulación, aplicación y evaluación de instrumentos de política ambiental	Aplicación de instrumentos de política ambiental en su territorio en materias no federales y de acuerdo con las disposiciones estatales correspondientes	

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

(Norma fundamental de donde emanan todas las leyes)

LEYES ESPECÍFICAS DEL SECTOR AMBIENTAL

- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable
- Ley de Aguas Nacionales
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
- Ley General de Vida Silvestre

OTRAS LEYES CON IMPACTO EN LAS FORMAS DE ACCESO Y APROPIACIÓN DE RECURSOS NATURALES

- Ley General de Bienes Nacionales
- Ley General de Asentamientos Humanos
- Ley General de Desarrollo Social
- Ley Federal de Derechos
- Ley de Expropiación
- Ley de Planeación
- Ley Agraria
- Ley de Desarrollo Rural Sustentable
- Ley de Energía
- Ley de Energía para el Campo
- Ley de Capitalización del Procampo

LEYES ESTATALES EN MATERIA AMBIENTAL

	EQUILIBRIO ECOLÓGICO	AGUAS ESTATALES	RECURSOS FORESTALES	RESIDUOS SÓLIDOS
México	X	X	X	X
Guerrero	X	X	X	X
Jalisco	X	X	X	X
Michoacán	X	X	X	X
Querétaro	X	X	X	X

miento de mecanismos que permitan que la sociedad pague por los servicios ambientales de los ecosistemas forestales. Asimismo, instaura el Servicio Nacional Forestal en coordinación con los gobiernos estatales y dependencias federales con el propósito de servir como un escenario para la conjunción de esfuerzos entre instancias, instrumentos, políticas, servicios y acciones institucionales para lograr la atención eficiente y concertada del sector forestal.

Para ello, se propone la planeación de las actividades del sector a nivel nacional, regional (adaptando la región hidrológica como unidad de gestión) y estatal; y se propone que estos programas sean revisados al menos cada dos años a fin de mantener una evaluación continua tanto en términos de la coordinación interinstitucional necesaria como en la aplicación del enfoque integral en las soluciones a los problemas relacionados con el recurso forestal.

A partir de este nuevo marco legal se promueven

diversos esquemas productivos que facilitan una mayor rentabilidad de la tierra y dan cuenta de que las actividades agrícolas y forestales pueden ser compatibles y complementarias. Esto adquiere mayor relevancia en la medida que reconoce a los dueños y poseedores de la tierra como los únicos que pueden, si así lo deciden, aumentar la cobertura vegetal y mantenerla a partir de un manejo adecuado de bosques y selvas.

Actualmente, como ejido o comunidad poseedora de recursos forestales, es posible formar empresas comunitarias con capacidad de obtener financiamientos, realizar estudios, formular programas, tramitar la obtención de permisos, subsidios, estímulos fiscales, apoyos gubernamentales en especie, agregar valor a sus recursos, aplicar rigurosamente los procedimientos y criterios del manejo forestal sustentable y distribuir equitativamente, y con sentido social, los beneficios obtenidos. Todo lo anterior no sólo redundará en

un aprovechamiento más sustentable y productivo del recurso forestal, sino que también contribuye a elevar el nivel de vida y cohesión de la comunidad.

Los principios rectores de este nuevo marco regulatorio de la actividad forestal son:

- Establecer las bases para delinear criterios de una política forestal con instrumentos específicos.
- Entender el manejo forestal sustentable como un medio para la protección y conservación de los ecosistemas y el desarrollo económico de comunidades, ejidos y pequeños propietarios.
- Recuperar los bosques en suelos preferentemente forestales como un medio para conservar la función de suelos y la preservación del ciclo hidrológico.
- Concebir la actividad forestal como parte del crecimiento económico del país.

Finalmente, cabe señalar que la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable establece un diseño institucional que asigna a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) las funciones normativas, así como las atribuciones sobre diseño y elaboración de la política forestal, en tanto que las funciones operativas —referidas a la aplicación e implementación de los planes y programas gubernamentales— quedan a cargo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

CUMPLIMIENTO DE LA LEGISLACION AMBIENTAL EN MÉXICO

En gran medida, el surgimiento de las instituciones ambientales en México responden más a compromisos de carácter internacional que a una demanda social interna. Incluso algunos autores afirman que la LGEPA fue un ordenamiento que concentró las atribuciones en materia ambiental, cuando éstas correspondían de manera residual a los estados (Azuela, 2001; Carmona, 1988).

Los principales problemas para el cumplimiento de la legislación ambiental pueden ser:

- Asignación de atribuciones ambientales entre niveles de gobierno que no concuerdan con sus capacidades

institucionales y recursos humanos, técnicos y financieros para cumplirlas.

- Preeminencia de los problemas sociales y económicos sobre los problemas ambientales.
- Reducido monto de las sanciones, aunado a la insuficiencia e ineficacia de los sistemas de monitoreo y vigilancia que crean pocos incentivos al cumplimiento de las normas ambientales.
- Exceso de regulación (leyes, reglamentos, normas, permisos, licencias, etc.) que eleva el costo de su cumplimiento por parte de actores particulares y abre las posibilidades a actos de corrupción.
- Falta de claridad y precisión en la regulación para un fácil acceso de los particulares.
- Incipiente desarrollo de una participación social, activa e informada, que demande a las autoridades de gobierno correspondientes el cumplimiento de sus atribuciones y obligaciones en materia ambiental.

Sin duda, cada uno de estos problemas podrían ser atendidos de manera aislada pero en el fondo todos ellos mantienen, como un denominador común, la necesidad de fortalecer la participación ciudadana y el nivel de educación ambiental. El involucramiento de la sociedad organizada e informada es imprescindible para mejorar las condiciones de gestión ambiental y promover una conducta conciente y corresponsable en los temas ambientales. Para ello resulta necesario promover una cultura ambiental y, al mismo tiempo, fomentar la cultura de la legalidad, destacando en todo momento, los beneficios que ésta representa para la convivencia social.



FOTO: JARQUIA MALDONADO



RELACIONES INTERGUBERNAMENTALES EN LA GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES

Georgina Caire Martínez

DEL MARCO LEGAL EXISTENTE se desprende que la gestión de los recursos naturales es una materia concurrente que depende de la cooperación y coordinación de los diferentes niveles de gobierno. Su eficacia, por lo tanto, será el resultado de la agregación de la observancia de las atribuciones y obligaciones en materia ambiental asignadas a cada gobierno y de su capacidad para intervenir conjuntamente en espacios de responsabilidad pública que no podrían ser atendidos adecuadamente por una sola instancia de gobierno.

Un manejo deficiente de los recursos naturales genera un proceso de deterioro que no siempre resulta perceptible en el corto plazo y que difícilmente puede ser revertido a partir de un cambio en el rumbo de las decisiones. La recuperación de los ecosistemas suele ser lenta y, en algunos casos puede ser irreversible. La naturaleza y los ecosistemas funcionan como un continuo que obliga a trabajar más allá de los límites políticos-administrativos.

La gestión integral de cuencas implicaría la atención simultánea sobre el manejo de cada uno de los

recursos naturales —suelos, vegetación y biodiversidad— con el propósito de preservar la cantidad y calidad del recurso agua.

La singularidad del agua como un bien público deviene de su elemental importancia como factor de vida y desarrollo. En este sentido, es comprensible que los principales esfuerzos del gobier-

no federal se hayan enfocado en la creación y consolidación de las instituciones más adecuadas para avanzar en una gestión integrada de los recursos hídricos (administración, distribución y saneamiento, entre otros). A diferencia de éstas, las acciones en materia de recursos forestales y de suelo se han venido realizando de manera más dispersa a lo largo de la cuenca, sin la existencia de un instrumento de planeación que pudiera facilitar la programación de proyectos precisos y adecuados para apuntalar los objetivos de cantidad y calidad del agua.

Por lo anterior, resulta muy difícil hablar de la existencia de un manejo integrado en la cuenca Lerma-Chapala. Éste es un escenario que se antoja sumamente difícil de alcanzar a partir del actual arreglo institucional que determinan los sistemas político y administrativo en materia ambiental.

En términos de recursos forestales, la ley asigna atribuciones a gobiernos estatales y municipales en su ámbito territorial, sin embargo, el diseño, formulación e implementación de los programas forestales quedan a cargo del Gobierno Federal (CONAFOR). Los principales incentivos de dichos programas están orientados a incrementar la cubierta vegetal haciendo del manejo forestal una actividad productiva. Cabe señalar que la mayoría de éstos son programas se ejecutan de acuerdo con la demanda de los propietarios¹ y con una asignación limitada de recursos, lo que hace más difícil la programación nacional y regional.

Por otro lado, las formas de manejo y aprovechamiento del suelo (apropiación del recurso) están determinadas principalmente por decisiones de los actores en particular (conocimientos, tradiciones,

acceso a información y tecnología, etc.), influidas en cierto modo, por los incentivos derivados del mercado y de las políticas públicas productivas para el sector agropecuario. El Ejecutivo Federal, a través de SAGARPA, está a cargo de su diseño, formulación e implementación. Sin embargo, la naturaleza misma de estas políticas hace énfasis en elevar la productividad del campo y la rentabilidad de la actividad agropecuaria y, si bien existen algunos programas que impulsan la conservación de suelos agrícolas, al igual que sucede con los programas forestales, éstos se implementan atendiendo la demanda de los productores sin considerar formalmente las condiciones del suelo y el impacto ambiental causado.

En materia de saneamiento de la cuenca, el nivel de gobierno municipal es el responsable de asegurar el tratamiento de las aguas residuales de uso industrial y urbano a través de su sistema de alcantarillado y drenaje. Asimismo, tiene la obligación de prestar los servicios relacionados con la recolección y disposición final de residuos sólidos. Sin embargo, en términos generales sus capacidades de gestión son insuficientes para alcanzar estas metas, y básicamente se han concentrado en atender los problemas ambientales desde una perspectiva urbana.

La comunicación entre las instancias de gobierno a cuyo cargo quedan estas obligaciones básicas bajo un enfoque de cuenca, es prácticamente inexistente y, en consecuencia, no resulta sorprendente encontrar que las acciones de cada una estén limitadas por la sectorización de sus propios objetivos, causando cruce de funciones operativas y dispersión de acciones y recursos. Este escenario se complica aún más si se considera la contradicción entre incentivos derivados de las políticas públicas productivas y ambientales a cargo de los niveles de gobierno involucrados.

Como se describió en la sección del marco legal, el principal problema de la legislación ambiental es la falta de cumplimiento de las normas, tanto por actores gubernamentales como privados. Desde la perspectiva organizacional, la ausencia de acuerdos sobre problemas regionales prioritarios sumada a la falta de cooperación y coordinación entre instancias de gobierno deriva en la aplicación ineficiente de los escasos recursos e incluso en la anulación de los

esfuerzos destinados a acciones correctivas en materia ambiental.

El Consejo de Cuenca, como órgano consultivo y los organismos operativos a nivel regional, estatal y municipal, carecen de la consolidación necesaria para esperar que, en el corto plazo, puedan extender sus reflexiones más allá de la gestión integral del agua. Por otro lado, si bien cada uno de los estados que forman parte de la cuenca cuentan con sus leyes en materia de agua, ambiente, desarrollo forestal, al interior se organizan diferenciadamente para atender sus problemas ambientales y desarrollan capacidades técnicas y administrativas siguiendo referentes independientes. Por lo tanto, para cada estado, la importancia del tema ambiental depende de sus propias prioridades de gobierno.²

Finalmente, es importante mencionar que el concepto de gestión ambiental suele englobar una gran cantidad de responsabilidades que van desde la protección ambiental, la planeación del territorio y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Varios expertos han advertido sobre el riesgo de crear arenas altamente conflictivas e ineficientes, al depositar todas estas responsabilidades en entidades de agua en proceso de consolidación (Dourojeanni y Jouravlev, 2002; Dourojeanni, 2005). Tratándose del caso específico de la cuenca Lerma-Chapala se recomendaría fortalecer los espacios y mecanismos de coordinación entre las agencias responsables del manejo de recursos forestales, suelo y agua, conciliar objetivos y metas estratégicas, para después sumar incrementalmente los esfuerzos locales.

¹ En México, el 88.6% de la superficie se encuentra bajo algún régimen de propiedad social o privada (37.4%) y sólo el 10% comprende tierras de propiedad pública (federal, estatal, o municipal), entre otras formas de tenencia de la tierra. Eduardo Robledo Rincón, Secretario de la Reforma Agraria, "El ordenamiento de la propiedad de la reforma agraria en México", discurso pronunciado en el Banco Mundial, Washington, D.C., 23 de febrero, 2000.

² Cada entidad federativa define, a nivel estatal, sus prioridades de gobierno en función de la problemática específica que debe enfrentar en su territorio. Sin embargo, generalmente los gobiernos estatales anteponen a los asuntos en materia ambiental, la atención sobre problemas en materia de educación, salud, seguridad pública, crecimiento económico y empleo.

CONFLICTOS INTERGUBERNAMENTALES POR AGUA

Georgina Caire Martínez



LA CUENCA LERMA-CHAPALA ha sido escenario de fuertes conflictos sociales derivados de la potencial degradación y pérdida de la calidad del agua. Algunos de estos conflictos son resultado de una ineficaz administración del recurso agua, que podría estar poniendo en riesgo la gobernabilidad y la estabilidad política de los estados que conforman la cuenca. Los principales problemas del agua que inciden en la contraposición de intereses entre los actores involucrados se relacionan con los siguientes puntos:

- Escasez del agua en proporción con los actuales niveles de consumo, especialmente el relacionado con la actividad agrícola.
- Sobreexplotación de los acuíferos (agua subterránea) de la región, principalmente para consumo público urbano e industrial.
- Altos niveles de contaminación de origen agrícola, industrial y urbano que afecta aguas superficiales y cuerpos de agua.

La presión sobre el agua está dada principalmente por la demanda de agua de las zonas urbanas¹, la fuerte actividad agrícola en la zona del Bajío, y el propio lago de Chapala como usuario natural. Éstos son los principales puntos de tensión que definen



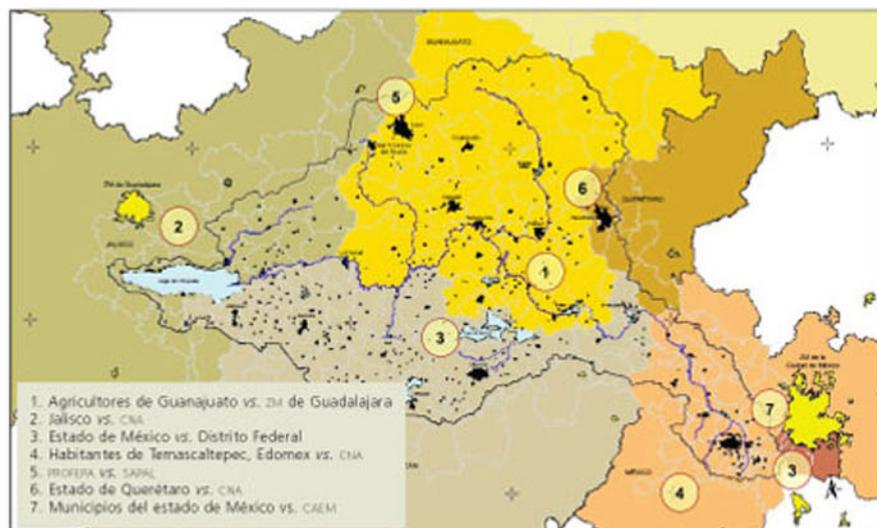
las posiciones de los actores y podrían llegar a obstaculizar la determinación de acciones coordinadas entre gobierno federal, estados, municipios, sectores productivos y sociedad civil.

La época de sequía registrada entre 1993 y 2003 enfrentó los intereses de diferentes agentes sociales e incrementó la intensidad de los conflictos por el agua. Las relaciones intergubernamentales entre el gobierno federal y los estados de la cuenca también se erosionaron ante la potencial escasez de agua y la virtual exacerbación de las externalidades negativas entre los usos actuales, mismos que implicaban pérdidas en la producción agrícola e incluso, la eventual desecación del lago de Chapala.

Espacialmente, se pueden identificar algunos conflictos de carácter intergubernamental que se registraron durante el periodo 1996 y 2002.

Si bien estos conflictos tienen su origen en el incumplimiento de responsabilidades e ineficacia operativa de las instituciones, parecería que la manifestación de los mismos responden más a la existen-

¹ Los principales centros urbanos que se benefician de la oferta de agua de esta región son el Distrito Federal, que satisface parte de su demanda de agua de los acuíferos del Lerma; la Zona Metropolitana de Guadalajara que extrae agua del lago de Chapala; la Zona Metropolitana de Toluca en el estado de México, la ciudad de Morelia en Michoacán y las ciudades de León, Guanajuato, Irapuato, Salamanca y Celaya, en el estado de Guanajuato.



Conflictos intergubernamentales por agua en la cuenca Lerma-Chapala, 1996-2002.

cia de un nuevo escenario político, caracterizado por una mayor pluralidad en los cargos de representación pública en los tres niveles de gobierno, nuevas reglas de acceso a la información y mayor competencia política.

De acuerdo con Antonio Crespo (2001) al cambiar las "condiciones" del juego para acceder a los cargos de representación popular, se generan incentivos para que los actores políticos se vigilen entre sí, lo que aumenta la necesidad de definir y delimitar las responsabilidades de cada unidad de gobierno ante el electorado. Lo anterior adquiere una mayor fuerza tratándose de asuntos que, como sucede con el agua, resultan altamente capitalizables en términos de competencia política.

Entre los principales conflictos identificados se mencionan los siguientes:

Agricultores de Guanajuato vs. Zona Metropolitana de Guadalajara. El periodo de sequía acentuó la confrontación de intereses entre los agentes produc-

tivos agrícolas de Guanajuato y el lago de Chapala (usuario natural).

Jalisco vs. Comisión Nacional del Agua. El gobierno de Jalisco urgió al Gobierno Federal la necesidad de considerar nuevas alternativas para el abastecimiento de agua de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

Estado de México vs. Distrito Federal. El estado de México interpuso una controversia constitucional para demandar al Gobierno del Distrito Federal por la desmedida extracción de agua que realiza en sus acuíferos y que está generando daños ambientales en territorio mexiquense.

Comisión Nacional del Agua vs. Habitantes de Temascaltepec, Edomex. Comunidades rurales y agrícolas de este municipio se opusieron a la realización de la cuarta etapa del Sistema Cutzamala, proyecto con el que el Gobierno Federal (CNA) había resuelto abastecer, desde 1996, parte del déficit de agua de la Ciudad de México.

Procuraduría Federal de Protección al Ambiente vs. Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de León, Guanajuato. La PROFEPA demandó al SAPAL por incumplir el ejercicio de su atribución sobre la industria contaminante en su jurisdicción, ocasionando la contaminación del río de Los Gómez.

Estado de Querétaro vs. Comisión Nacional del Agua. El gobierno del estado de Querétaro denunció a la CNA por no hacer cumplir las normas oficiales a los municipios que descargan aguas residuales en la presa Zimapán, cuya contaminación ha alcanzado niveles que amenazaban la salud pública de la población usuaria.

Municipios del estado de México vs. Comisión Estatal del Agua del Estado de México. Varios municipios, principalmente de extracción panista, se niegan a reconocer y pagar la deuda por derechos de agua potable a la CAEM, argumentando que dicha estrategia de cobro se sustenta en un interés político del gobierno estatal (PRI).

En materia de agua, cada una de las unidades de gobierno tiene responsabilidades asignadas que debe cumplir para asegurar la prestación de servicios públicos dentro de su jurisdicción y, al mismo tiempo, debe mantenerse atenta a la necesidad de solucionar problemas comunes con otras entidades. Ante un escenario de marcada rivalidad y competencia política, el no cumplimiento de dichas responsabilidades se convierte en una oportunidad para que los adversarios políticos puedan exhibir las deficiencias en la gestión gubernamental. En este sentido, existe un riesgo de que decisiones en materia de agua, que deberían considerar aspectos de

eficiencia social y eficacia técnica, queden sujetas a consideraciones y negociaciones que pueden llegar a favorecer intereses diversos.

Expertos sobre el tema señalan la necesidad de diseñar un sistema específico para la gestión del agua, con mayor autonomía técnica y administrativa, que resulte más independiente de los vaivenes políticos, teniendo como principios la eficiencia en la gestión, el incremento de sus capacidades de respuesta y que esté sujeto a mecanismos que promuevan la participación social y la rendición de cuentas (Dourojeanni y Jouravlev, 2002; Dourojeanni *et al.*, 2001).

Finalmente, en materia de saneamiento, las principales acciones deben dirigirse hacia una distribución de responsabilidades atendiendo al principio de subsidiariedad y hacia la creación de mecanismos más eficaces para hacer cumplir las normas oficiales relativas a diversos agentes contaminantes.

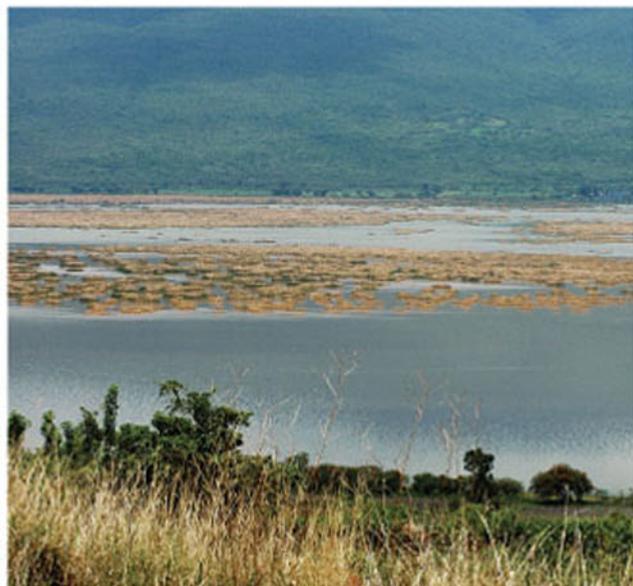


FOTO: FERRAS TELAREDO

CONDICIÓN SOCIO-AMBIENTAL

EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO ECONÓMICO DE LA CUENCA, a través de las instituciones existentes, ha dejado profundas huellas en el paisaje. El efecto acumulativo de décadas de impulso del desarrollo social y económico a expensas del ambiente se deja sentir en cada uno de sus componentes. La pérdida de vegetación natural, la degradación de los suelos, el deterioro de la calidad del agua y el daño a la fauna son algunas de las consecuencias de un crecimiento poco planificado. Paradójicamente, la infraestructura generada para el desarrollo no ha quedado exenta de este quebranto y, hoy en día, la eficiencia de las presas también se encuentra amenazada por el deterioro ambiental. El agua dulce de buena calidad es limitada, de ahí la necesidad de una gestión integral en la que estén representados todos los usuarios del agua. Su manejo efectivo debe asegurar un uso adecuado de los recursos disponibles, prevenir la contaminación y reducir los conflictos que usualmente genera el acceso al agua dulce. Todo ello requiere el establecimiento de políticas y estrategias claramente definidas, así como la elaboración de reglamentos y mecanismos para controlar la contaminación del agua (OMS/PNUMA, 2003). La gran demanda de agua en la cuenca Lerma-Chapala ha creado una intrincada red de usuarios que la requieren para diversas aplicaciones y por lo tanto con diferente calidad (Mestre Rodríguez, 1997). Al ser la calidad del agua una de las limitantes para el uso de este recurso en la región, resulta de gran interés contar con una visión integral de la situación actual de esta zona geográfica.



CAMBIOS DE USO DEL SUELO

Alejandra Fregoso Domínguez
y Nora Esquivel Esquivel

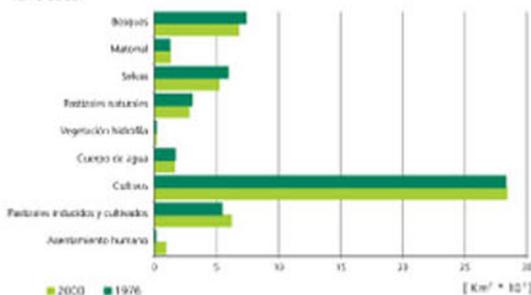
LA DINÁMICA DEL CAMBIO de uso de suelo en la cuenca Lerma-Chapala, como resultado de las diferentes actividades productivas, es muy compleja. Si bien el sector industrial es el más desarrollado en la región, éste se concentra en áreas urbanas y rurales específicas. Son las actividades agrícolas y ganaderas vinculadas al sector industrial las que ocupan la mayor superficie de la cuenca y por lo tanto, las que mayor impacto han tenido en el cambio de uso del suelo de la región (Figura 1).

Los insumos cartográficos para el análisis del cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo provienen del Inventario Nacional Forestal; la metodología utilizada se encuentra descrita en Priego Santander *et al.* (2004).

Al realizar un análisis detallado del cambio de uso del suelo en la cuenca, se encuentra que puede ser englobado en cinco grandes procesos (Figura 2).

El primero y más importante por el área afectada, es la conversión entre coberturas antrópicas. Este

Figura 1 Cambio de las diferentes coberturas del terreno entre 1976-2000.



proceso de cambio se realiza de una cobertura antrópica a otra; por ejemplo, un área ocupada por agricultura de temporal 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 no hubo un incremento neto en la superficie de esta cobertura, debido al equilibrio existente 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. Este proceso se ha presentado en las principales ciudades como son León, Guanajuato, Toluca y Morelia, entre otras.

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.

La pérdida y fragmentación de la vegetación natural puede tener "consecuencias evolutivas a largo plazo, e inclusive puede tener efectos a corto plazo con cambios a nivel genético que alteren la adecuación y la viabilidad de poblaciones remanentes" (Herrerías y Benítez, 2005). Más allá de la dinámica de poblaciones y comunidades, estos cambios afectan la funcionalidad de los ecosistemas, en términos de flujo de energía, de nutrientes y de agua, entre otros.

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 (Figura 3).

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). Los cuerpos de agua que han presentado mayor degradación son el lago de Chapala y el lago de Cuitzeo. También la cobertura de popal-tular se ha incrementado (92.52 km²) a consecuencia de la degradación de los cuerpos de agua.

El análisis anterior muestra que la cuenca Lerma-Chapala se encuentra bajo un proceso acelerado de transformación de la cubierta del terreno. Si bien los ecosistemas que caracterizan la cuenca provienen de una gran cantidad de bienes y servicios para las poblaciones que la habitan, una mala planeación del territorio —que conlleva a la transformación acelerada y al deterioro de los ecosistemas—, puede generar impactos negativos sobre el ambiente y en consecuencia sobre la sociedad en general.

Actualmente la cuenca presenta serios problemas de fragmentación de los ecosistemas, en donde se observa: a) el detrimento en la superficie neta de la vegetación natural, b) el incremento de la superficie de vegetación secundaria y c) el aislamiento entre

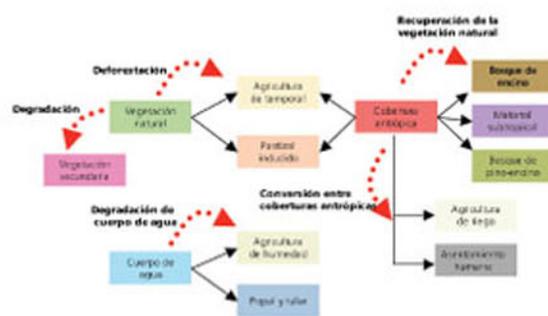
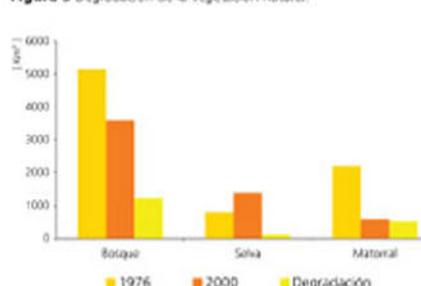


Figura 2 Procesos de cambio de uso del suelo.

los fragmentos de vegetación. Con el fin de aminorar los impactos negativos de la dinámica actual de cambio del uso del suelo, es necesario migrar hacia una estrategia de planeación de manejo integral del uso del suelo para promover las diferentes funciones de la cuenca y asegurar su integridad funcional en el corto, mediano y largo plazo. Esto incluye las funciones de producción (de fibras, productos agropecuarios, etcétera), de hábitat para la biodiversidad, de regulación del clima (captura y liberación de gases invernadero y carbono —procesos biogeoquímicos) y de regulación hidrológica (recarga de mantos acuíferos y flujos de agua superficial y subterránea).

Figura 3 Degradación de la vegetación natural.

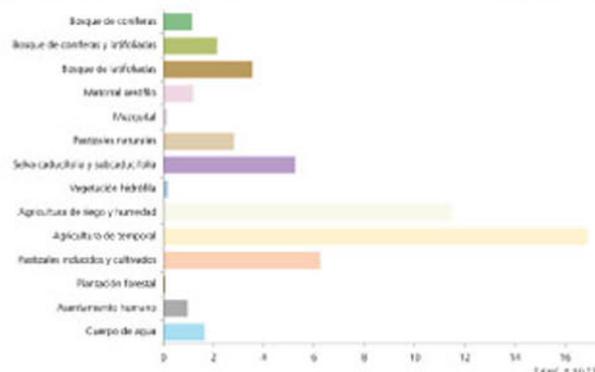


VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO

Alejandra Fregoso Domínguez

CON EL FIN DE DESARROLLAR sus actividades, los seres humanos han transformado el entorno natural, ya sea para la construcción de viviendas o para el desarrollo de actividades económicas. La forma en que se utiliza la superficie del territorio, se conoce como *uso del suelo*. Éste puede ser de tipo agrícola, industrial o forestal, entre otros. La cobertura vegetal original puede sufrir modificaciones de distintos grados. Cuando el cambio es total, éste se define como *cobertura antrópica*; cuando la transformación es mínima o bien se mantienen aún rasgos importantes de su estado original, se le conoce como *vegetación inducida*.

Figura 1 Uso del suelo y vegetación



La cobertura vegetal y el uso del suelo en la cuenca son muy diversos; esta diversidad se debe en gran parte a la alta heterogeneidad del espacio geográfico y a las actividades económicas que se han desarrollado históricamente modificando el entorno natural. Cabe mencionar que el territorio de la cuenca es atravesado por corredores industriales que conectan zonas con alta actividad manufacturera y comercial, de gran importancia para el país. Asimismo, en la cuenca se encuentra la zona agrícola denominada El Bajío, que se caracteriza por su importancia en esta materia a nivel nacional.

Debido al alto desarrollo de las actividades económicas y a su impacto sobre el entorno natural, la cuenca presenta un alto grado de antropización. La cobertura con mayor extensión es la de cultivos, ocupando más del 50% de la superficie total (Figura 1). Este uso del suelo se distribuye a lo largo de toda la cuenca e incluye zonas con agricultura de riego —ubicadas en las planicies—, y agricultura de temporal, que se distribuye en las laderas de montañas, colinas y lomeríos y en ocasiones, en zonas de planicie.

Como unidad natural, la cuenca presenta una gran variedad de ecosistemas, producto de la alta diversidad del espacio geográfico que contiene. Sin embargo, dichos ecosistemas se encuentran sometidos a una fuerte presión de deterioro. En la actualidad las zonas que presentan un menor grado de antropización son aquellas en donde aún se distribuye la vegetación natural, comprendida por formaciones de bosques, selvas, matorrales y pastizales naturales, los cuales representan una gran diversidad de tipos de vegetación e integran diversas comunidades vegetales (Cuadro 1). Sin embargo, los procesos de deterioro de la vegetación natural ocasionan cambios en la estructura y fisonomía de la vegetación primaria, dando lugar a la vegetación secundaria (Figura 2).

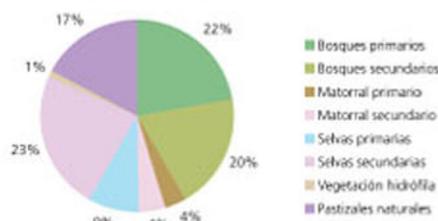
Los bosques se caracterizan por presentar un estrato predominante arbóreo, con una distribución altitudinal amplia, aunque debido a la presión antrópica están hoy en día confinados principalmente a las zonas altas de las montañas, los lomeríos y al parteaguas de la cuenca. Ocupan una superficie cercana al 13% del total de la cuenca y se encuentran altamente fragmentados. Pese a esta situación, aún se observan grandes macizos boscosos que albergan una alta diversidad biológica. Los bosques se distribuyen en la zona norte con climas secos, en donde se observa el bosque de latifoliadas, mientras que al sur, en las zonas más húmedas, se observan los bosques de coníferas y latifoliadas.

La distribución de la vegetación está originalmente relacionada con la heterogeneidad del relieve en el territorio así como con el clima, lo que define a la región en dos zonas hidroclimáticas. El norte de la cuenca se encuentra bajo el régimen de climas secos, mientras que el sur presenta climas húmedos.

Los bosques se caracterizan por presentar un estrato predominante arbóreo, con una distribución altitudinal amplia, aunque debido a la presión antrópica están hoy en día confinados principalmente a las zonas altas de las montañas, los lomeríos y al parteaguas de la cuenca. Ocupan una superficie cercana al 13% del total de la cuenca y se encuentran altamente fragmentados. Pese a esta situación, aún se observan grandes macizos boscosos que albergan una alta diversidad biológica. Los bosques se distribuyen en la zona norte con climas secos, en donde se observa el bosque de latifoliadas, mientras que al sur, en las zonas más húmedas, se observan los bosques de coníferas y latifoliadas.

Las selvas también se caracterizan por presentar un estrato arbóreo y arbustivo. El tipo de vegetación de selva caducifolia y subcaducifolia se refiere exclusivamente a la comunidad de matorral subtropical, que tiene una amplia distribución en lomeríos y colinas, al centro de la cuenca. Este tipo de vegetación se encuentra altamente fragmentado, y se presenta incluido en la matriz de cultivos agrícolas, o bien, rodeado

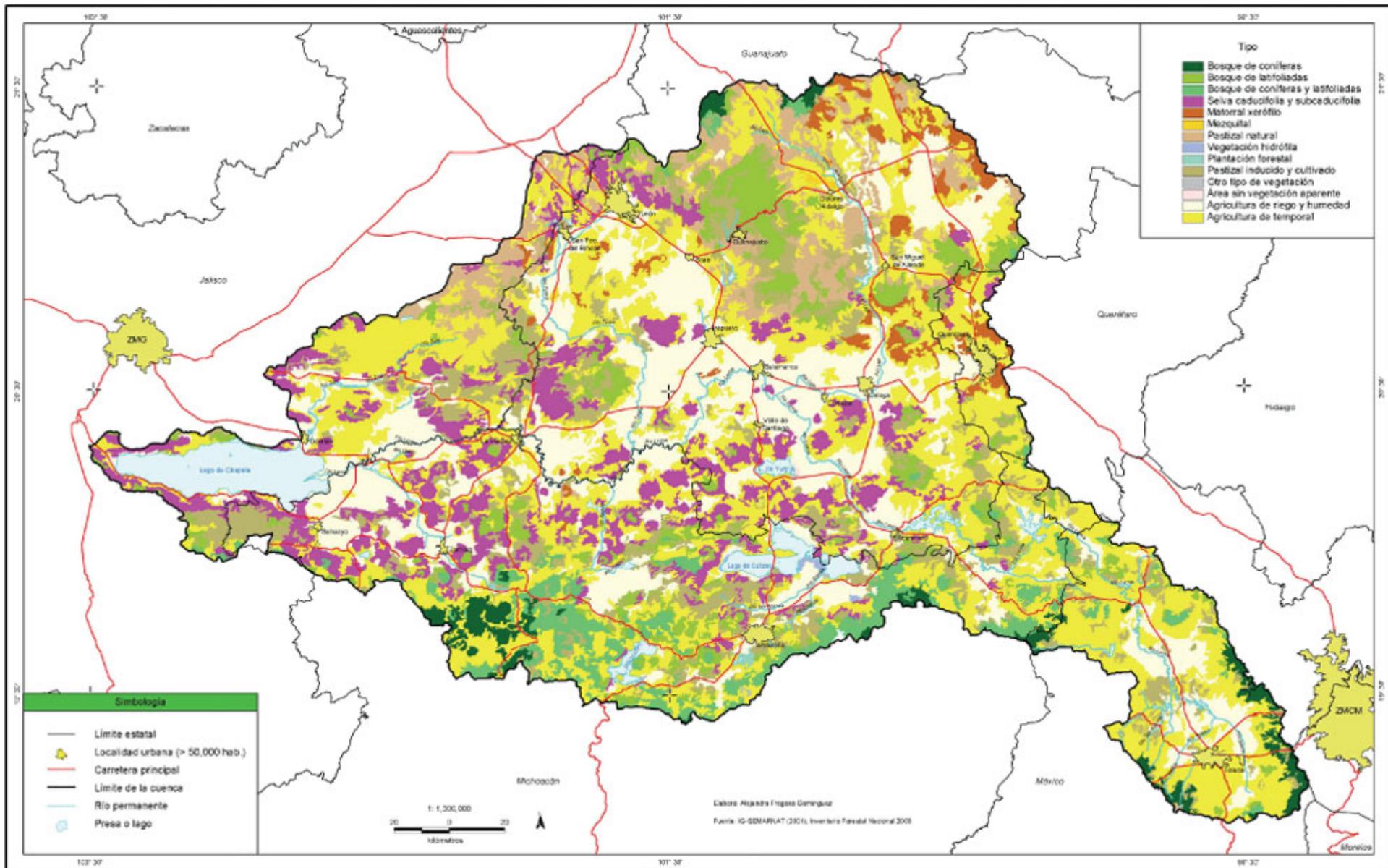
Figura 2 Vegetación primaria y secundaria.



Cuadro 1 Clasificación jerárquica de la vegetación y uso del suelo. (Modificado de: IICA-SEMARNAT, 2002, Inventario Nacional Forestal).

FORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	COMUNIDAD DE VEGETACIÓN Y OTRAS COBERTURAS	ÁREA (km²)
I. Cultivos	Agricultura (seco y húmeda)	Agricultura de riego	11,050.81
		Agricultura de humedad	418.33
	Agricultura (de temporal)	Agricultura de temporal	16,889.25
		Plantación forestal	45.35
II. Bosques	Coníferas	Bosque de oyamel	302.21
		Bosque de pino	829.60
	Coníferas y latifoliadas	Bosque de pino encino	2,128.07
		Bosque de encino	3,540.49
Matorral de montaña	Bosque mesófilo de montaña	14.38	
	Selvas	Caducifolia y subcaducifolia	5,220.95
Matorrales		Esqueletal	132.50
	Matorral esclerófilo	Matorral crasicole	1,173.27
III. Pastizales	Pastizal	Pastizal natural (incluye pastizal huetzacoatl)	2,796.27
		Pastizal natural inducido	6,295.37
IV. Vegetación hidrófila	Vegetación hidrófila	Populalzar	167.40
V. Otros tipos de vegetación	Otros tipos de vegetación	Vegetación huérfana y grasoña	44.68
		Área sin vegetación aparente	11.12
VI. Otras coberturas	Asentamiento humano	Asentamiento humano	995.25
		Cuerpo de agua	Cuerpo de agua

USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN, 2000



por pastizales inducidos. El matorral se caracteriza por un estrato constituido principalmente de arbustos, su distribución en la cuenca abarca poco menos del 2% de la superficie total y está representado por el tipo de vegetación de mezquitil y matorral xerófilo. Se localiza principalmente al norte de la cuenca, es decir, en las zonas secas de la misma.

El pastizal se caracteriza principalmente por su estrato herbáceo mas no por un estrato arbóreo o arbustivo. En la cuenca se encuentra altamente distribuido, ocupando cerca del 12% de la superficie del territorio, principalmente en la zona

norte. Originalmente, este tipo de vegetación aparecía en zonas entre los bosques y el matorral subtropical.

La vegetación hidrófila se distribuye en las zonas húmedas o en las márgenes de los cuerpos de agua. En la cuenca está representada por la vegetación de popal-tular. Este tipo de vegetación ocupa el octavo lugar cubriendo tan solo el 0.31% del área total del territorio y se encuentra distribuida en las ciénegas ubicadas en el Alto Lerma, en el estado de México, así como en la zona noreste a lo largo del río Lerma y en los alrededores de los lagos.

MIGRACIÓN CAMPESINA ASOCIADA AL CAMBIO DE COBERTURA Y USO DEL TERRENO EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO, MICHOACÁN

Erna López Granados, Gerardo Bocco Verdineili y Manuel Mendoza Cantú

LA MIGRACIÓN ES UN FENÓMENO DEMOGRÁFICO dinámico que afecta el tamaño, la estructura y distribución espacial de la población. La migración afecta fuertemente las actividades económicas y puede ocasionar cambios en el uso del terreno, aunque usualmente no se considera en modelos de cambio de uso del terreno (Stéphane y Lambin, 2001) aún cuando es reconocido como un factor demográfico dominante que influye en su utilización (Henry *et al.*, 2003).

Para reconocer y cuantificar los patrones en el cambio de cobertura y uso del terreno (COVUT) se utilizaron fotografías aéreas panorámicas blanco y negro en una escala aproximada de 1:50,000 para el año de 1975 y 1:37,000 para el año 2000, cartas del INEGI y censos elaborados por la Dirección General de Estadística (dce, 1970) y el censo (2001).

De acuerdo con López *et al.* (en prensa) las categorías de cobertura/uso del terreno que dominaron la mayor parte de la zona de estudio en el año de 1975 fueron, en orden descendente, los cultivos de secano, los matorrales, los bosques y los cultivos de riego. En el año 2000, las categorías que se encontraron mejor representadas en la zona fueron las mismas que en el año de 1975; sin embargo, el orden de importancia entre ellas fue diferente: matorrales, bosques, cultivos de temporal y cultivos de riego. Las categorías mencionadas cubren cerca del 77% de toda la cuenca; si se tiene en cuenta que las zonas de matorrales han sido utilizadas para el pastoreo de ganado vacuno, caprino y lanar, es posible afirmar que la mayor parte de la superficie de la cuenca era utilizada en actividades agropecuarias en los años de estudio.

La superficie ocupada por los cultivos de secano disminuyó en 10.8% en el intervalo de estudio. Los cultivos de secano que en el año 2000 cambiaron a cobertura de matorrales se localizan principalmente en laderas muy pedregosas, con suelos poco profundos, fáciles de erosionar. Lo anterior se traduce en arduos labores de labranza y bajos rendimientos de las cosechas (principalmente maíz y frijol). La situación mencionada, acuada al pobre apoyo gubernamental al campo mexicano ocurrido en las últimas décadas, ha ocasionado que los campesinos emigren a otras zonas en busca de una mejor calidad de vida. De esta manera las tierras de cultivo poco productivas fueron abandonadas, y las laderas sufrieron menor presión de uso. Algunos terrenos que dejaron de cultivarse tienen al menos 25 años abandonados, lo que ha ocasionado fenómenos de sucesión vegetal que actualmente se ven reflejados en zonas con presencia de

matorral subtropical. El matorral subtropical es definido por Rzedowski y Rzedowski (1987) como una fase más o menos estabilizada que sucede a la destrucción del bosque tropical caducifolio y posiblemente al cultivo prolongado del suelo y pastoreo de la vegetación secundaria; este tipo de vegetación que existió en la zona de estudio en forma natural antes de la intervención humana (Velázquez Durán, 1998).

El proceso de abandono de tierras de cultivo de secano no es reciente, y se ha documentado para otras zonas de Michoacán. En las comunidades de Las Animas y Guadalupe el acaparamiento de tierras por parte de personas que emigran recurrentemente ha hecho que casi el 90% de la tierra productiva se encuentre prácticamente abandonada (López Castro, 1986). En otras comunidades, lo que se ha dejado de cultivar en los últimos años corresponde a los peores terrenos, que en su mayoría requirieron ser parcialmente despedregados para su uso. En la cuenca de Cuitzeo los municipios que presentaron mayor cobertura de matorrales en 1975 y en 2000 fueron: Huanilcareo, Moreños, Acámbaro, Salvatierra, Yuriria, Uriangato y Chucándiro. Estos municipios, ubicados en la porción norte de la cuenca, son los más pobres (INEGI, 2001) y presentaron una reducción en el tamaño de su población como consecuencia de la emigración durante el periodo del estudio.

FOTO: ALBERTO RIZCO



FOTO: ALBERTO RIZCO



FOTO: MARCELA BALDOR



DEGRADACIÓN DE SUELOS

Helena Cotler Ávalos, Arturo Garrido Pérez y Carlos Enriquez Guadarrama

LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN de los suelos en la cuenca Lerma-Chapala fue realizada tomando como base la información generada por la SEMARNAT y el Colegio de Posgraduados (2002) a escala 1:250,000. Esta información fue posteriormente validada en el campo.¹

Por degradación de suelos nos referimos a los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual y/o futura del suelo para sostener la vida humana (Oldeman, 1988). Este proceso, en su sentido más amplio, está relacionado con el régimen climático, las condiciones geomorfológicas y las características intrínsecas de los suelos pero sobre todo, con la deforestación y el establecimiento de sistemas agropecuarios inapropiados, entre otras prácticas.

Como efecto del cambio del uso del suelo y prácticas agropecuarias inadecuadas, entre otros factores, más del 36% de la cuenca 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% de los procesos) y la erosión hídrica superficial (10.3%). Las repercusiones de estos procesos de degradación en el ambiente están en gran medida regidas por el tipo de funciones que el suelo mantiene en cada una de las zonas funcionales de la cuenca.

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 de suelos. Este proceso 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 caracterizados por una intensa mecanización, utilización de insumos químicos y escasa incorporación de abonos orgánicos mantienen monocultivos de cereales (ver capítulo *Sistemas de producción agropecuaria*). El reconocimiento en campo de este proceso mostró signos de compactación a aproximadamente 20 cm de profundidad (conocido como el "piso de arado") que se refleja en un aumento de la densidad aparente, lo cual dificulta el enraizamiento de las plantas y disminuye el espacio poroso necesario para la retención de humedad. Estas condiciones podrían afectar el rendimiento y la calidad de los cultivos.

De manera muy localizada, en las tres zonas funcionales se presentan problemas de erosión eólica, especialmente en aquellos suelos que se encuentran desprovistos de vegetación (en descanso o barbecho) durante los meses con mayor erosividad eólica (marzo a mayo).

También a lo largo de la cuenca, en piedemonte y laderas, especialmente con coberturas de pastos y matorrales, que pueden ser utilizados para el pastoreo extensivo, se presentan cárcavas. Estas complejas formas de erosión son afectadas por múltiples factores y procesos. Aunque la erosión por cárcavas es acelera-

da por el cambio del uso de suelo y/o eventos climáticos extremos, a menudo resulta de un antecedente histórico complejo (Chaplot *et al.*, 2005; Bocco y Cotler, 2004). La compactación del suelo se presenta de manera muy puntual en las zonas de cabecera y captación, asociada a prácticas agrícolas.

En la zona de emisión, zona natural de acumulación de sedimentos, nutrientes y materia orgánica, el proceso de declinación de la fertilidad es también dominante, afectando casi 25% del área. También en esta zona aparecen los procesos de salinización, muchas veces relacionados con la desecación de los lagos interiores.

La información sobre degradación de suelos existente muestra el estado de deterioro en un momento dado (años 2000-2001), lo cual nos da una visión puntual de esta situación.

Para actualizar y monitorear esta información se requieren estudios más precisos y dinámicos que mediante el uso de indicadores apropiados permitan la explicación de las relaciones causa-efecto en cuanto a la degradación de suelos.

La intensa degradación de los suelos que presenta la cuenca Lerma-Chapala, semejante a otras regiones del país, evidencia la necesidad de diseñar programas orientados a la conservación de suelos y a la capacitación de los agentes productivos. No obstante, el diseño de este tipo de estrategias enfrenta importantes limitaciones. La grave situación que enfrentan los suelos en cuanto a su degradación y a los efectos indirectos que ello genera en la economía, en el ambiente y en la salud de la población, no ha ocupado un lugar central en la agenda de los gobiernos. Esto puede deberse a que no existe una presión real por parte de los agricultores,² ni ningún otro sector productivo. En consecuencia, no existen incentivos para que el gobierno destine recursos suficientes (tanto técnicos, como financieros y humanos) o prevea mecanismos de implementación y mejora de los programas existentes. Como resultado, hoy en día

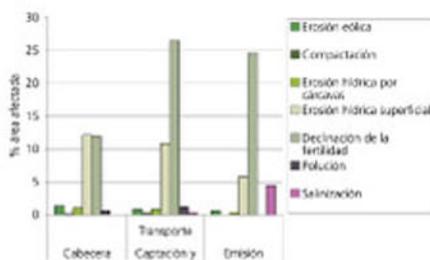
los programas de conservación de suelos se encuentran divididos entre dos Secretarías (SAGARPA, para suelos agrícolas y SEMARNAT-CONAFOR para suelos forestales) con pocos recursos y grandes limitaciones para operar.

La erosión hídrica superficial es un proceso sutil y paulatino pero que sin embargo deteriora fuertemente las propiedades del suelo, afectando las funciones que éste cumple en el ecosistema.



La erosión hídrica por cárcavas es común en piedemonte utilizado para pastoreo extensivo.

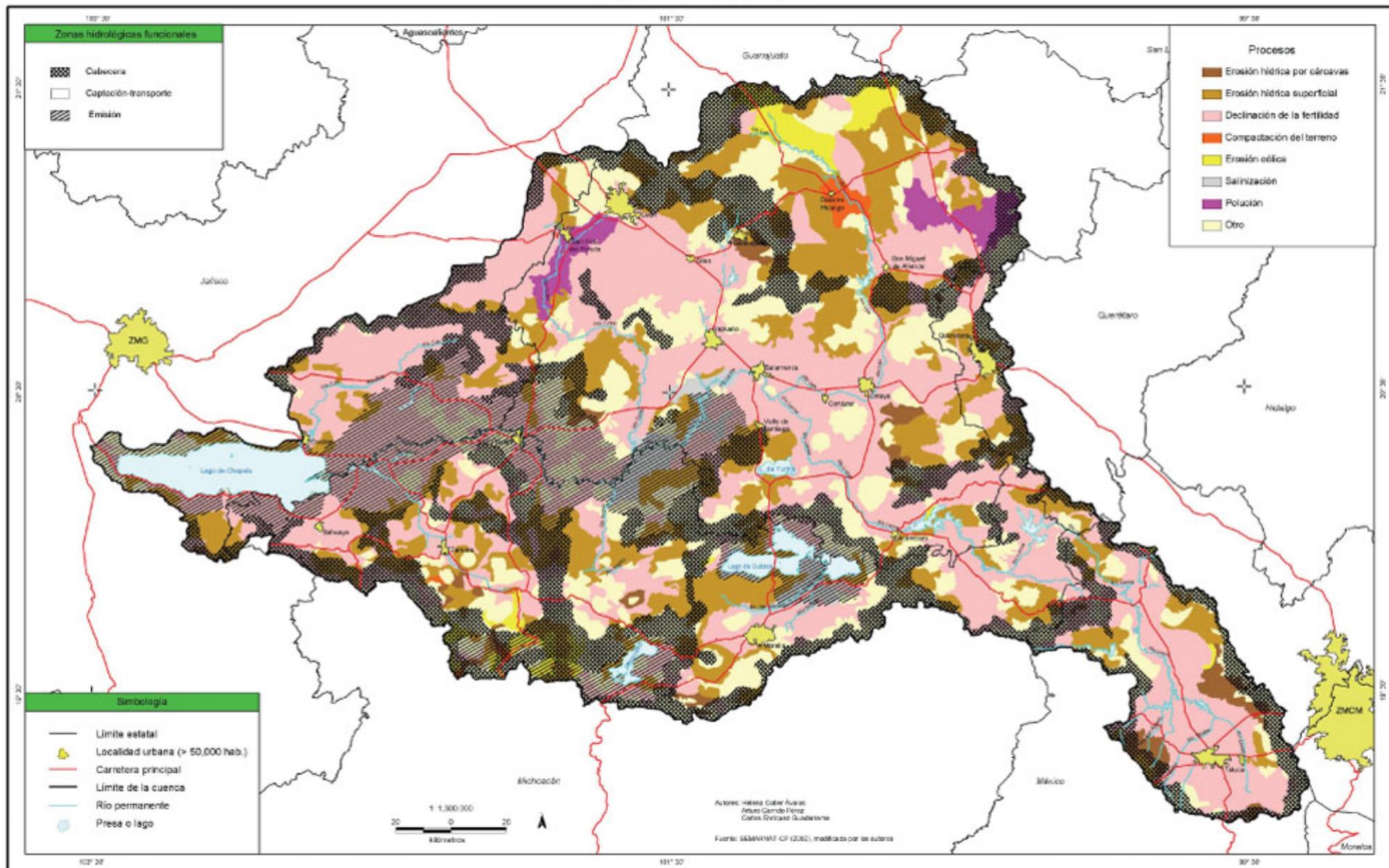
Zonas funcionales.



¹ Consultar http://www.ine.gob.mx/dgsoec/cuencas/download/diag_lerma_chapala.pdf

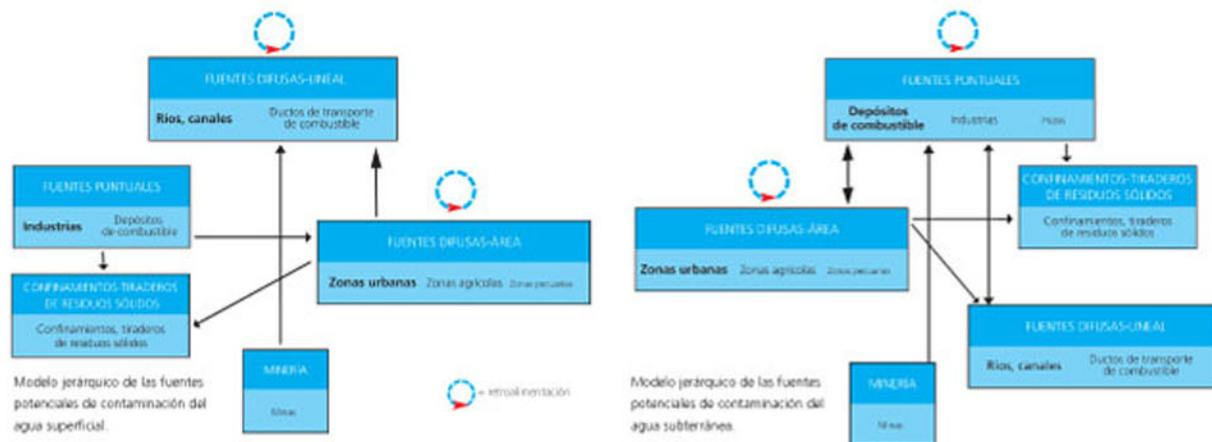
² Esta situación se puede ver reflejada en el Acuerdo para el campo (<http://www.sagarpa.gob.mx/cgas/acuerdo/acuerdo.pdf>)

DEGRADACIÓN DE SUELOS



FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Marisa Mazari Hiriart y
Alba Esmeralda Zarco Arista



EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA se llevan a cabo diversas actividades que generan un impacto negativo sobre el ambiente natural, al producir una serie de contaminantes que afectan de diferente manera los sistemas acuáticos. Estos contaminantes provienen de varias fuentes, las cuales pueden clasificarse en función de las actividades productivas (industriales, agrícolas, pecuarias), así

como por el tipo de ambiente donde se realizan (rural, urbano).

Las fuentes potenciales de contaminación se pueden clasificar por el área que afectan en forma directa, esto es como fuentes puntuales y difusas o no-puntuales. Las puntuales pueden causar degradación de la calidad del agua a una escala local, mientras que las difusas se distribuyen en una zona o se presentan en forma lineal y pueden afectar grandes áreas (Howard y Gelo, 2003). Asimismo, el impacto de las fuentes potenciales de contaminación está determinado por las características del ambiente como son: geología, suelo, pendiente, variabilidad de la precipitación y cobertura vegetal, entre otros.

Considerando las actividades tanto urbanas como rurales que se llevan a cabo en la cuenca Lerma-Chapala y la

información generada en estudios realizados en otras áreas geográficas (Mazari Hiriart *et al.*, 2006; Atmadja y Bagtzoglou, 2001; Rail, 2000; Civita y DeMaio, 1997; Knox y Canter, 1996), es posible definir la selección de las fuentes contaminantes, así como su importancia considerando el área de afectación y el tipo de impacto. La importancia diferencial de cada fuente de contaminación potencial se presenta jerárquicamente, las categorías se expresan horizontalmente y la importancia intrínseca de cada una se señala por el tamaño de la tipografía en cada nivel jerárquico; estas jerarquías difieren para los sistemas de agua superficial y subterránea.

En este estudio de caso las fuentes puntuales —industria, confinamientos, depósitos de combustibles, minas y pozos— se concentran en los estados de México, Querétaro y Guanajuato. Si bien en Michoacán no se presentan todas las fuentes y se encuentran dispersas, también es importante la presencia de industria y confinamientos. Las fuentes lineales de contaminación —ductos, ríos y canales (que funcionan como sistemas de drenaje)— se ubican en su mayor parte en Guanajuato así como en Michoacán, estado de México y una porción menor en Jalisco y Querétaro. Las fuentes de contaminación difusa —urbana, agrícola, y pecuaria— se dis-

tribuyen heterogéneamente en la cuenca. Las principales zonas urbanas se encuentran en el estado de Guanajuato, Michoacán, estado de México y Querétaro. Por otra parte, las actividades agrícolas se distribuyen homogéneamente en la cuenca, si bien la mayor productividad se reporta para la zona del Bajío en Guanajuato. Cabe mencionar que en el estado de México y Guanajuato se practica la floricultura de manera intensiva, con una aplicación importante de agroquímicos, compuestos persistentes y de importancia toxicológica. La actividad pecuaria se lleva a cabo principalmente en los estados de Michoacán, Jalisco, México, Querétaro y Guanajuato.

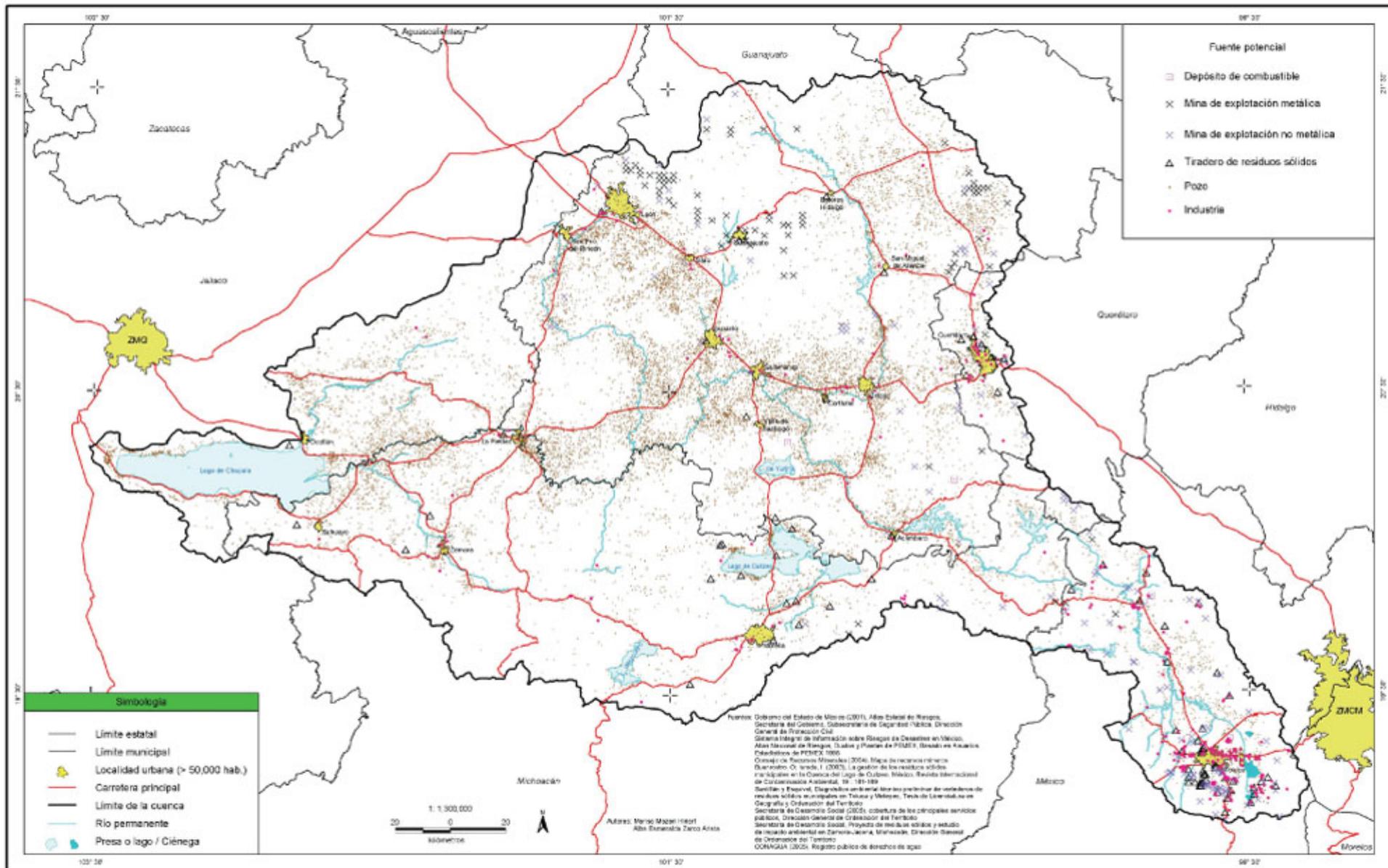
En los cuerpos de agua superficiales resulta relevante el vertimiento de desechos líquidos producto de actividades tanto urbanas como rurales, resultando relevante el agua de retorno agrícola no cuantificado que contiene, además de nutrientes (fertilizantes), compuestos tóxicos como plaguicidas.

La visión espacial que brinda el mapa de fuentes contaminantes potenciales refleja la situación ambiental actual de la cuenca Lerma-Chapala, misma que se ve sustentada en los apartados por tipo de contaminación específica.

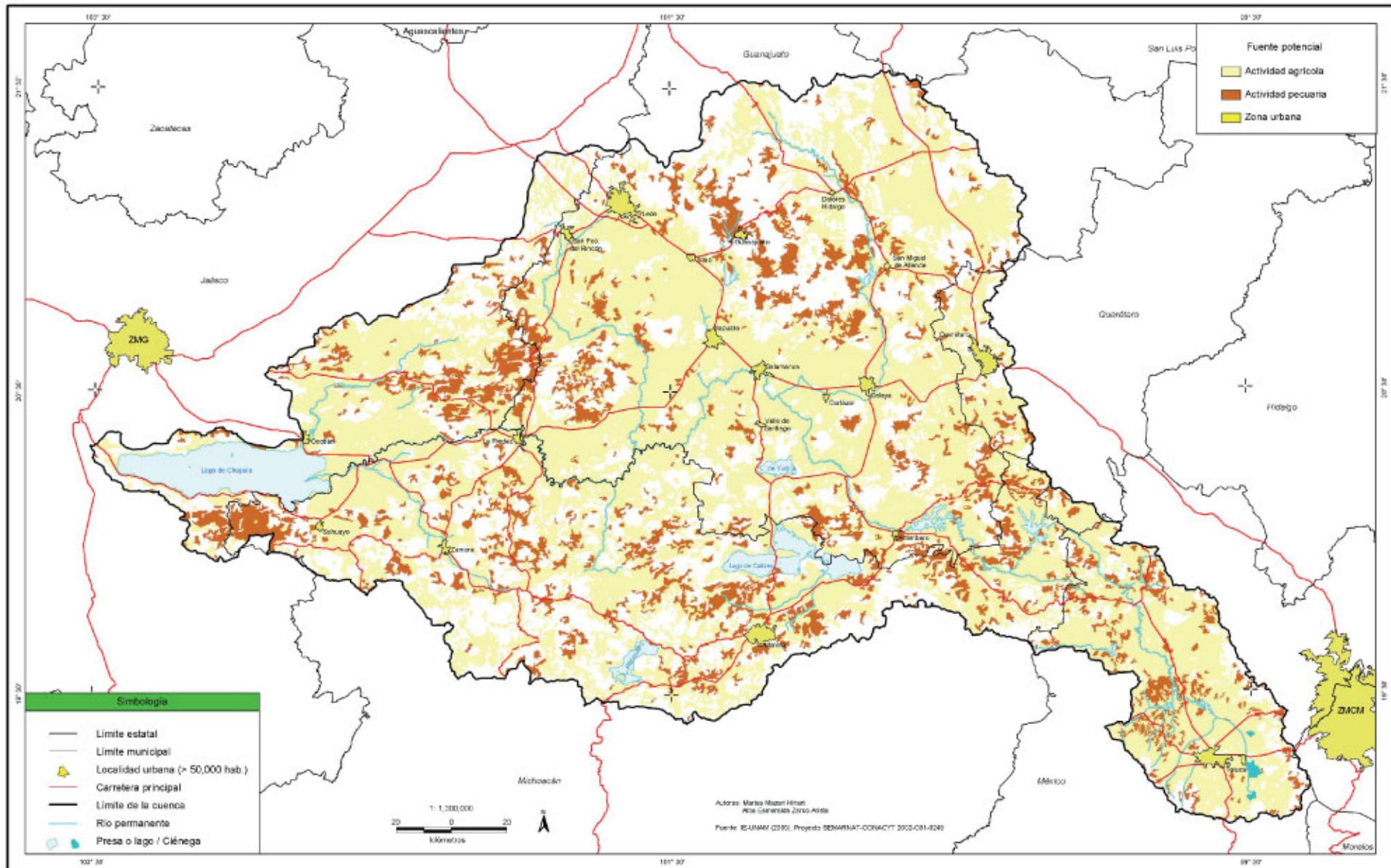
FOTO: EDUARDO VILLALBA



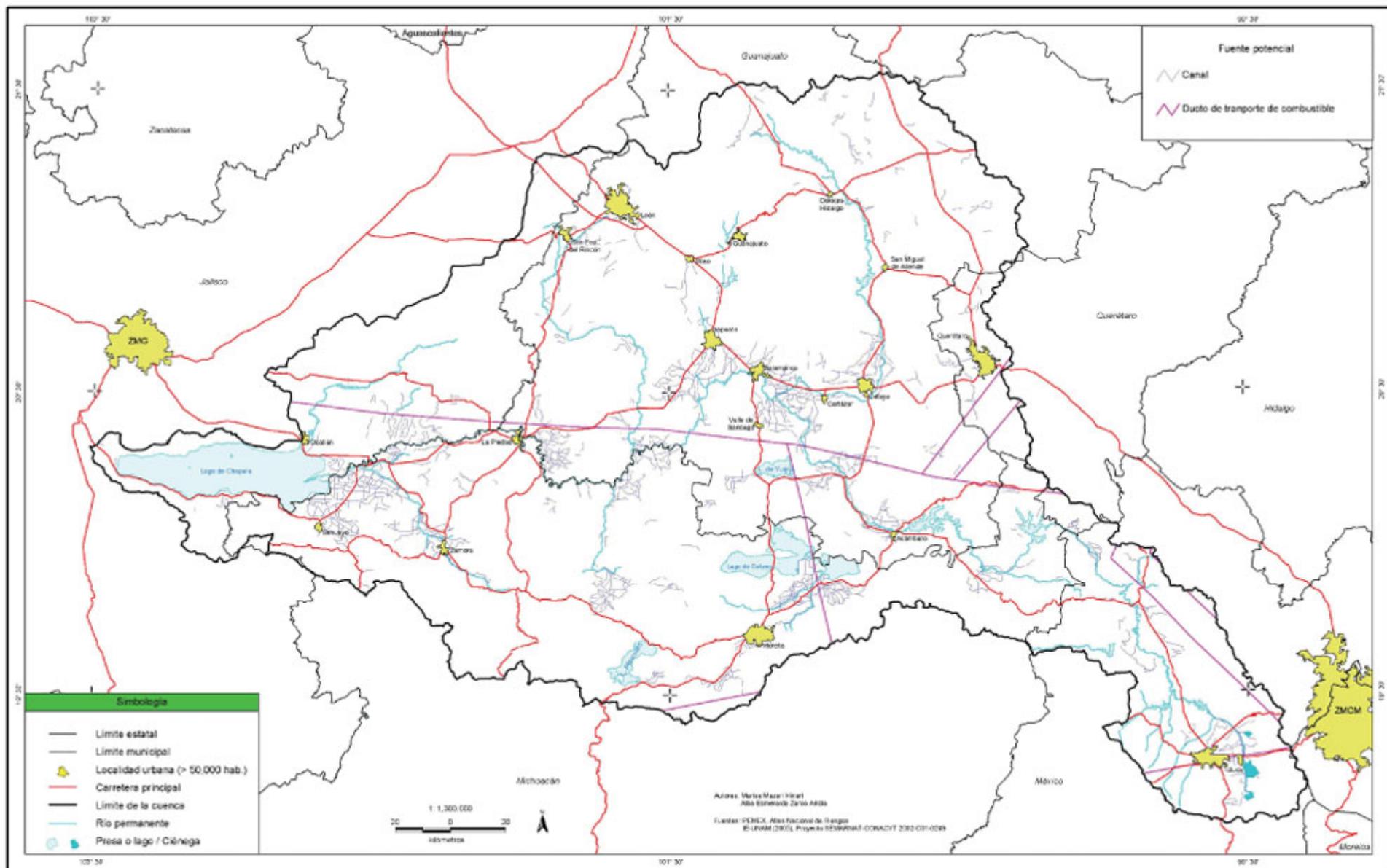
FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN PUNTUAL



FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN DIFUSA



FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN LINEAL



ESTADO TRÓFICO DE LA CUENCA

Martín López Hernández, Karla Diana Infante Ramírez y María Guadalupe Ramos Espinosa

LOS PRINCIPALES PROBLEMAS AMBIENTALES en la cuenca Lerma-Chapala se reflejan en el descenso del régimen hidrológico, el deterioro en la calidad del agua y en la alteración de las comunidades biológicas. En diferentes áreas del río Lerma y en el lago de Chapala, se han encontrado altas concentraciones de nutrientes, así como la proliferación de vegetación acuática flotante como el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y arraigada como el tule (*Typha latifolia*) (de Anda *et al.*, 1998). Las diversas actividades antropogénicas de la cuenca se reflejan en la alteración de los ciclos del nitrógeno y del fósforo y por ende, en el estado trófico o productivo primario del sistema (Allan, 1995).

La evaluación del estado productivo o estado trófico en ríos se ha realizado a partir del cálculo del índice trófico en el que se clasifica al sistema en las mismas categorías que los lagos: oligotrófico (muy pobre), mesotrófico (medianamente productivo), eutrófico (productivo) e hipereutrófico (altamente productivo), considerando las concentraciones de nutrientes nitrogenados y fosforados, clorofila *a*, y biomasa algal (Dodds *et al.*, 1998; Snelder *et al.*, 2004). En este trabajo se aplicó el índice trófico publicado por Burns *et al.* (1999) con mayor número de clasificaciones del estado trófico en ríos.

Para los meses de junio (sequía) y septiembre (lluvias) del año 2005, se eligieron 10 localidades de trabajo sobre el cauce principal del río Lerma, consi-



FOTO: ALVARO FLORES



FOTO: ALVARO FLORES



FOTO: WIKIMEDIA

SITIO	NOMBRE	LATITUD N	LONGITUD W	ALTITUD (msnm)	ESTADO
1	Lerma	19° 16' 59"	099° 31' 18"	2,580	Estado de México
2	Infahuaca	19° 34' 24"	099° 46' 38"	2,515	Estado de México
3	Atzacomulco	19° 50' 01"	099° 55' 23"	2,516	Estado de México
4	Tzitzilouaro	19° 58' 24"	100° 27' 09"	1,981	Michoacán
5	Inchamcuaro	20° 04' 49"	100° 49' 41"	1,860	Guanajuato
6	Pueblo Nuevo	20° 31' 21"	101° 22' 04"	1,725	Guanajuato
7	La Calle	20° 17' 10"	101° 38' 02"	1,695	Guanajuato
8	Yunéuaro	20° 20' 06"	102° 15' 50"	1,697	Michoacán
9	La Barca	20° 18' 49"	102° 30' 23"	1,520	Jalisco
10	Ibarra	20° 13' 43"	102° 37' 35"	1,536	Michoacán
11	Alacranes	20° 14' 56"	103° 10' 43"	1,539	Jalisco
12	Ajic	20° 16' 09"	103° 14' 49"	1,531	Jalisco

Tabla 1 Ubicación de los sitios de muestreo a lo largo del cauce principal del río Lerma y lago de Chapala.

denando que cubrían las áreas de influencia de las principales actividades antropogénicas como la industria, la agricultura y la ganadería. Para el lago de Chapala se consideraron las estaciones Alacranes

ESTADO TRÓFICO	CATEGORÍA DE ENRIQUECIMIENTO POR NUTRIENTES	NIVEL TRÓFICO	CLOROFILA A (mg/m ³)	TRANSPARENCIA CON DISCO SECCHI (m)	PT (mg/m ³)	NT (mg/m ³)
Ultramicrotrófico	Prácticamente puro	0.0 a 1.0	<0.33	>25	<1.8	<34
Microtrófico	Muy baja	1.0 a 2.0	0.33-0.82	25-15	1.8-4.1	34-73
Oligotrófico	Baja	2.0 a 3.0	0.82-2.0	15-7	4.1-9.0	73-157
Mesotrófico	Medio	3.0 a 4.0	2-5	7.0-2.8	9-20	157-337
Eutrófico	Alta	4.0 a 5.0	5-12	2.8-1.1	20-43	337-725
Supertrófico	Muy alta	5.0 a 6.0	12-31	1.1-0.4	43-93	725-1,558
Hipertrófico	Saturada	>6.0	>31	<0.4	>96	>1,558

Tabla 2 Valoración el estado trófico según Burns *et al.* (1999).

y Ajic. (Tabla 1) En cada sitio se determinó la transparencia del agua mediante inmersión de disco de Secchi y se colectó una muestra hidrológica subsuperficial (20 cm); en laboratorio se efectuaron análisis químicos de los nutrientes inorgánicos: nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) siguiendo los procedimientos de campo y laboratorio descritos en APHA (1998).

A lo largo del cauce, las concentraciones de nutrientes variaron significativamente entre mayo y septiembre.

Generalmente las mayores concentraciones se encontraron en las localidades de la Cuenca Alta, previas a la presa Solís, donde se administra el agua para el riego del Distrito de Riego 011 que beneficia a la región del Valle de Santiago. En el mes de junio el N total presentó valores de 0.9 a 34 mg/L, el P total fue de 1.1 a 16.8 mg/L; en septiembre el nitró-

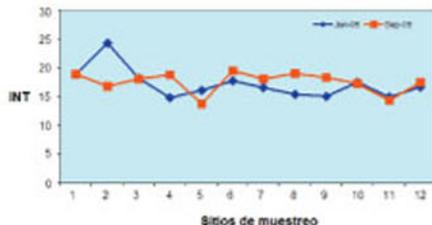


Figura 1 Índice de Nivel Trófico (INT) aplicado al río Lerma y al lago de Chapala.

geno total presentó valores de 0.8 a 7.2 mg/L, el P total fue de 0.7 a 11.6 mg/L. Para el mes de junio el N total del lago presentó valores de 1.10 a 2 mg/L, el P total fue de 1.86 a 2.65 mg/L. En el mes de septiembre, el N total presentó valores de 2.61 a 4 mg/L, el P total fue de 0.38 a 1.83 mg/L.

Los resultados obtenidos de la aplicación del Índice de Nivel Trófico (INT) (Figura 1) en ambos meses fueron altos para el río Lerma y el lago de Chapala, y reflejan condiciones hipertróficas (Tabla 2).

Burns *et al.* (1999) mencionan que esta condición refleja aguas muy fértiles con sobresaturación de NT y PT (mayor a 2 mg/L). Con respecto a los nutrientes, las principales fuentes potenciales de contaminación del río y del lago las constituyen los escurrimientos y las descargas municipales e industriales. En general, la transparencia del río en todos los sitios fue menor de 1 m y se registró un alto contenido de sólidos disueltos y materia orgánica. Las concentraciones de N total y P total (Figuras 2 y 3) sobrepasan los límites establecidos por las normas de calidad de agua (DOF 1989). Los valores de N total en el lago se pueden atribuir a todos los escurrimientos y a la mayor cantidad de descargas que recibe del río Lerma y que llegan hasta el lago como cuerpo receptor; lo que no ocurre durante la época de estiaje. A lo largo del cauce y en las localidades del lago se registran diferentes escurrimientos de sitios agrícolas con un alto uso de fertilizantes o descargas de aguas residuales urbanas o industriales (Bellos *et al.*, 2004). Para el

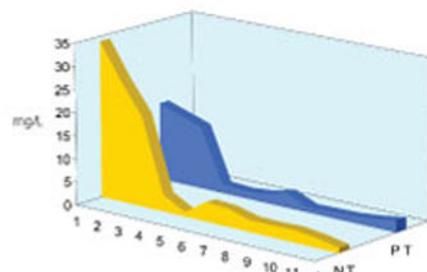


Figura 2 Concentraciones de N total y P total a lo largo del cauce del río Lerma y lago Chapala en secas (junio 2005).

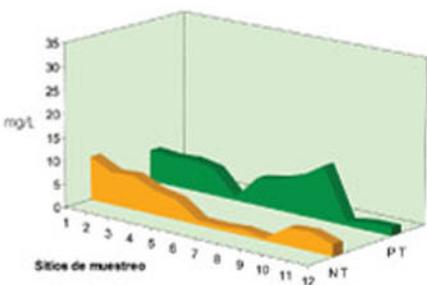


Figura 3 Concentraciones de N total y P total (mg/L) a lo largo del cauce del río Lerma y lago Chapala en época de lluvias (septiembre 2005).

río Lerma se consideran éstas como causas de la alta variación en el mes de septiembre (al final de la temporada de lluvias). Pérez (2005) y García (2005) reportan que para la zona de muestreo predomina el uso de fertilizantes a base de urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio.

CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

Alba Esmeralda Zarco Arista,
Alberto Jorge Lima, Yolanda López
Vidal y Marisa Mazari Hiriart

CONOCER LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA del agua resulta de gran relevancia, dado el riesgo asociado con la ingesta de agua contaminada con bacterias patógenas, virus, protozoarios y helmintos provenientes de las heces fecales de humanos y animales (WHO, 2003). En la cuenca Lerma-Chapala tanto el agua superficial como subterránea tiene usos diversos



que incluyen uso público-urbano, agrícola, industrial y pecuario.

En el monitoreo que se realiza para evaluar la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico, es prácticamente imposible medir los organismos presentes; por ello se ha desarrollado un método en el que se consideran bacterias indicadoras¹.

Así, el grupo de bacterias coliformes se aplica como prueba general de monitoreo de calidad del agua y se ha utilizado en todo el mundo a lo largo de los últimos 100 años para llevar a cabo estudios de agua potable, contaminación de sistemas acuáticos, fuentes de contaminación de aguas residuales crudas y sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas recreativas (Rose y Grimes, 2001). También se han propuesto otros microorganismos para ser usados como indicadores alternativos; tal es el caso del grupo enterococos y *Escherichia coli*, entre otros (Scott *et al.*, 2002).

En los meses de junio y septiembre de 2005 se realizó un muestreo en ocho sitios a lo largo del río Lerma con el fin de evaluar la calidad del agua. Los resultados de este muestreo se compararon con los últimos datos disponibles de la Red Nacional de Monitoreo (2003) de la Comisión Nacional del Agua.

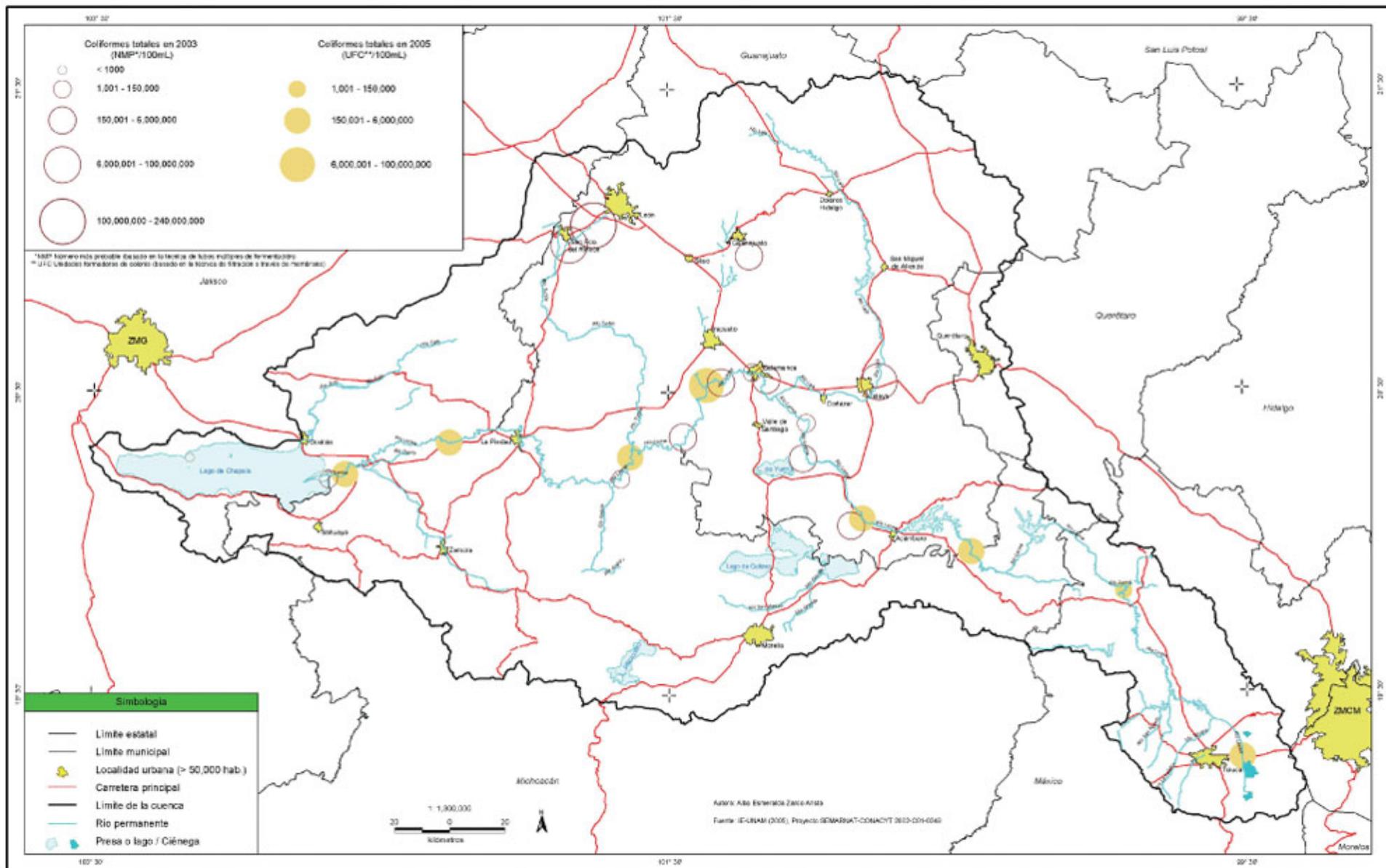
Como resultado, se observa una tendencia al incremento de coliformes totales (CT) de 2003 a 2005 en secas —especialmente después de la zona urbana-industrial de Lerma-Toluca—, y esta tendencia se conserva, con un incremento considerable

(142 veces) en Pueblo Nuevo, Guanajuato. Los conteos de CT se incrementan de 2003 a 2005 para época de lluvias, como es el caso de Pueblo Nuevo (134 veces), con excepción de la estación Acámbaro, ambos en Guanajuato. Aún cuando no se cuenta con información comparativa para los dos años, en el río Turbio los conteos bacterianos son extremadamente altos (240,000,000 NMP/100 mL). En los datos anuales de la Red Nacional de Monitoreo se observa un incremento entre época de secas y lluvias en los conteos de CT.

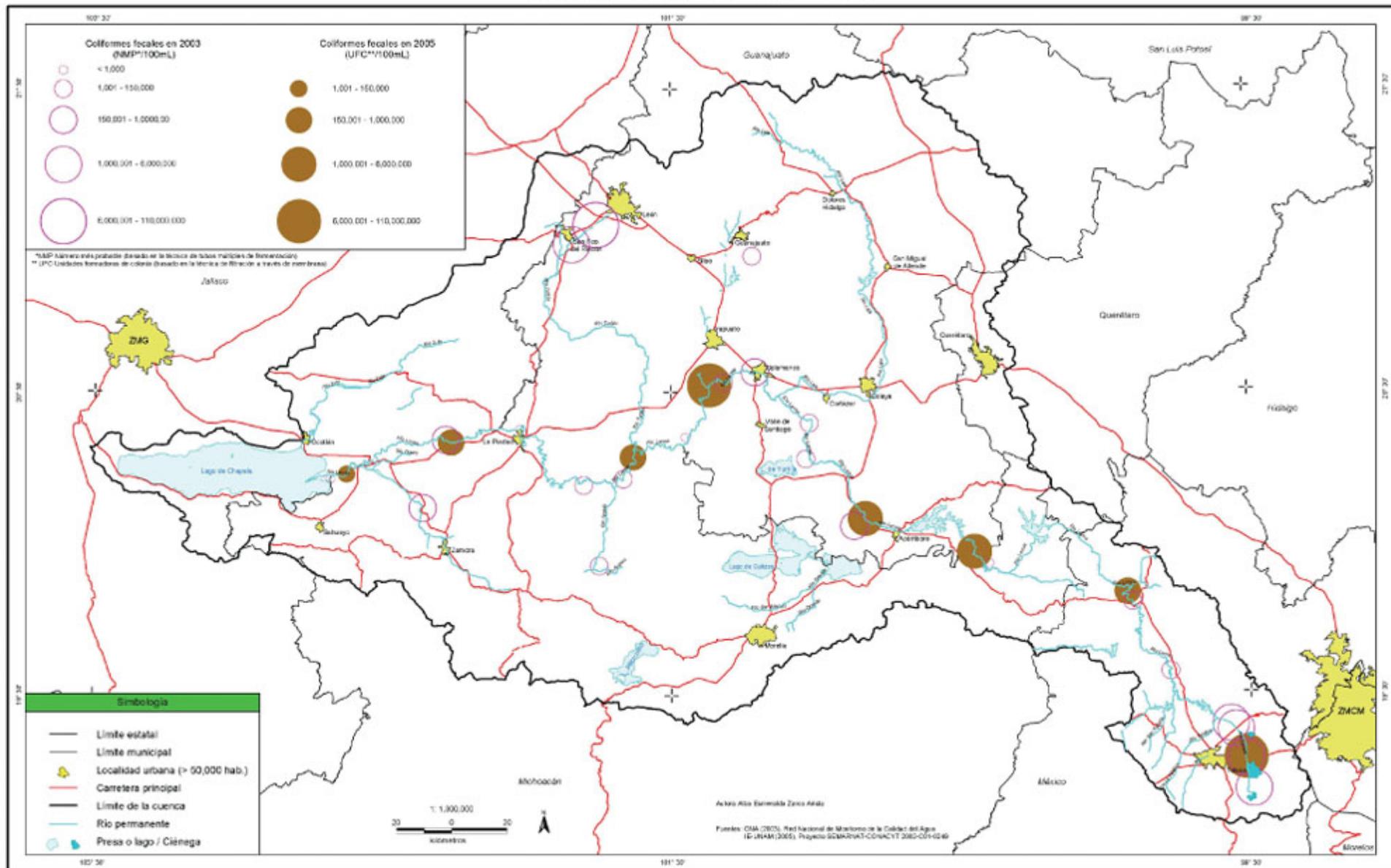
Se observa una tendencia general al incremento de coliformes fecales (CF) de 2003 a 2005 en secas, desde el origen del río Lerma. Los conteos superan lo estipulado por la norma para agua de riego agrícola y protección de la vida acuática (1,000 NMP/100 mL de coliformes fecales), desde 2003, salvo en dos

¹ Grupo de bacterias cuya función es mostrar evidencia de contaminación fecal proveniente de animales de sangre caliente. Los criterios para considerar un organismo como indicador son: a) que el indicador esté presente cuando el patógeno también lo esté; b) que el indicador esté presente en grandes cantidades en materia fecal; c) que el indicador responda a condiciones ambientales o procesos de tratamiento de manera similar a los patógenos de interés; d) que el indicador sea fácil de aislar, identificar y cuantificar; e) que exista una relación alta indicador-patógeno; f) que el indicador y el patógeno deben provenir de la misma fuente, esto es del tracto gastrointestinal (Gerba, 2000).

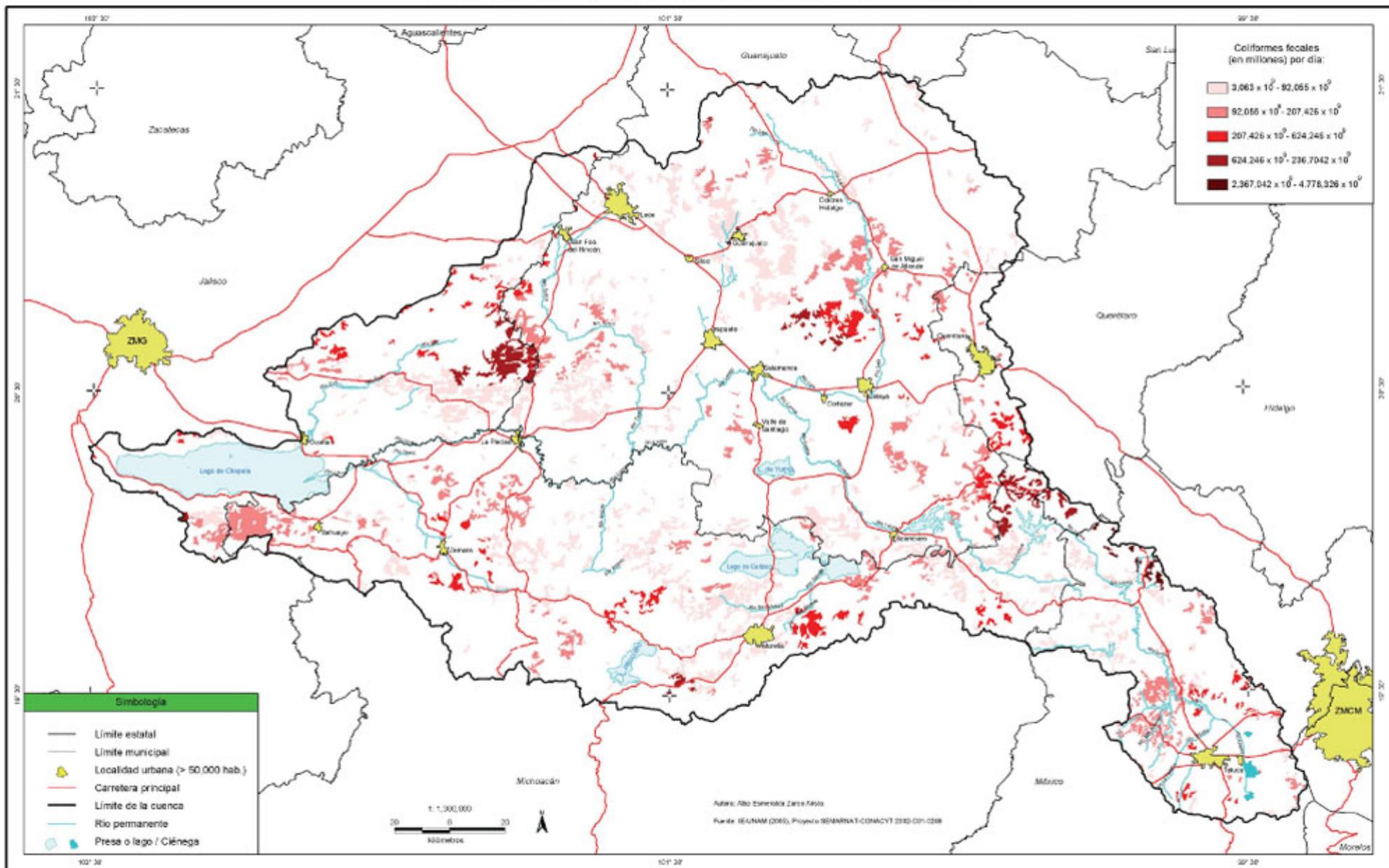
COLIFORMES TOTALES EN ÉPOCA DE LLUVIAS



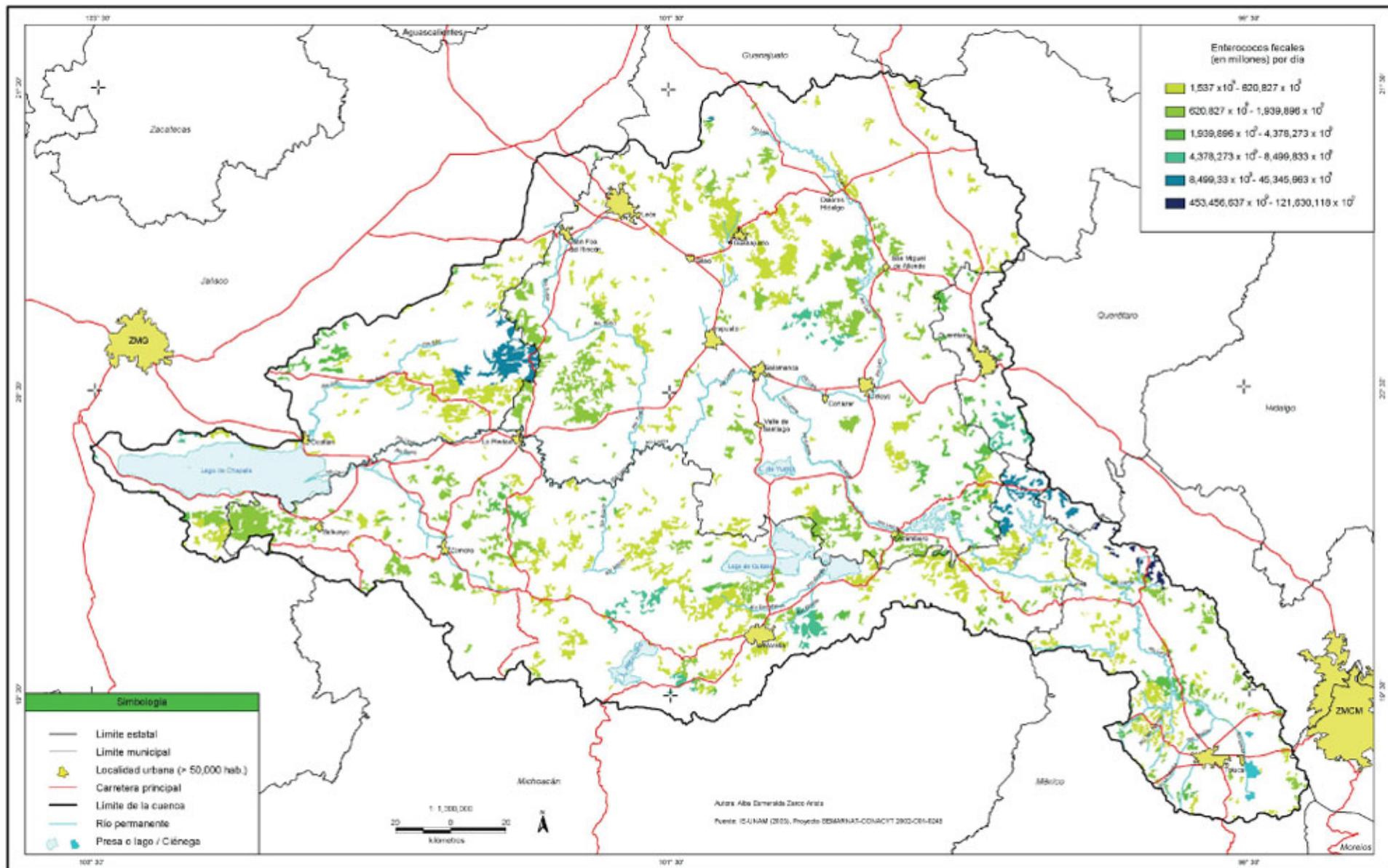
COLIFORMES FECALES EN ÉPOCA DE SECAS



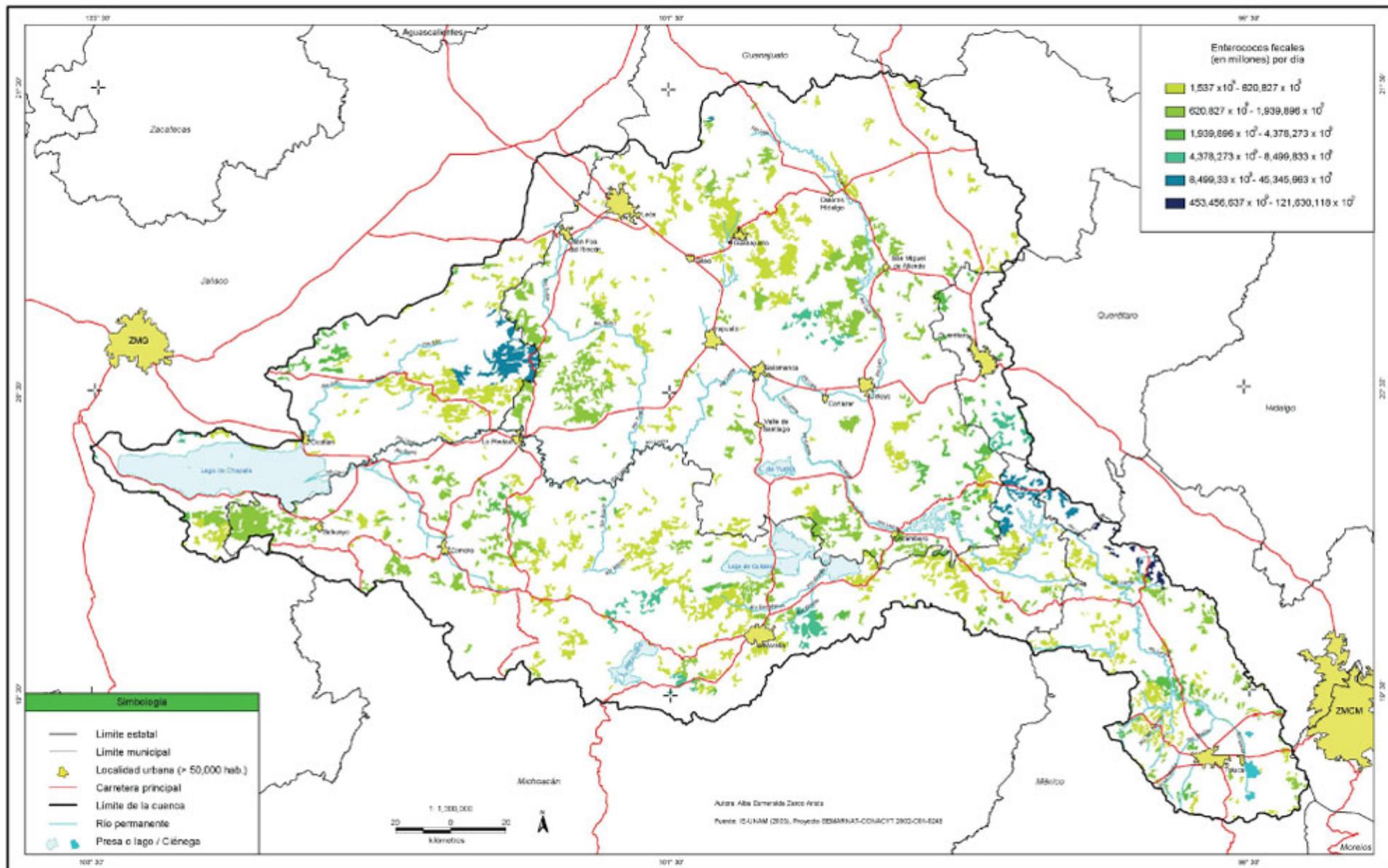
ESTIMACIONES DE COLIFORMES FECALES EN SUPERFICIE PECUARIA



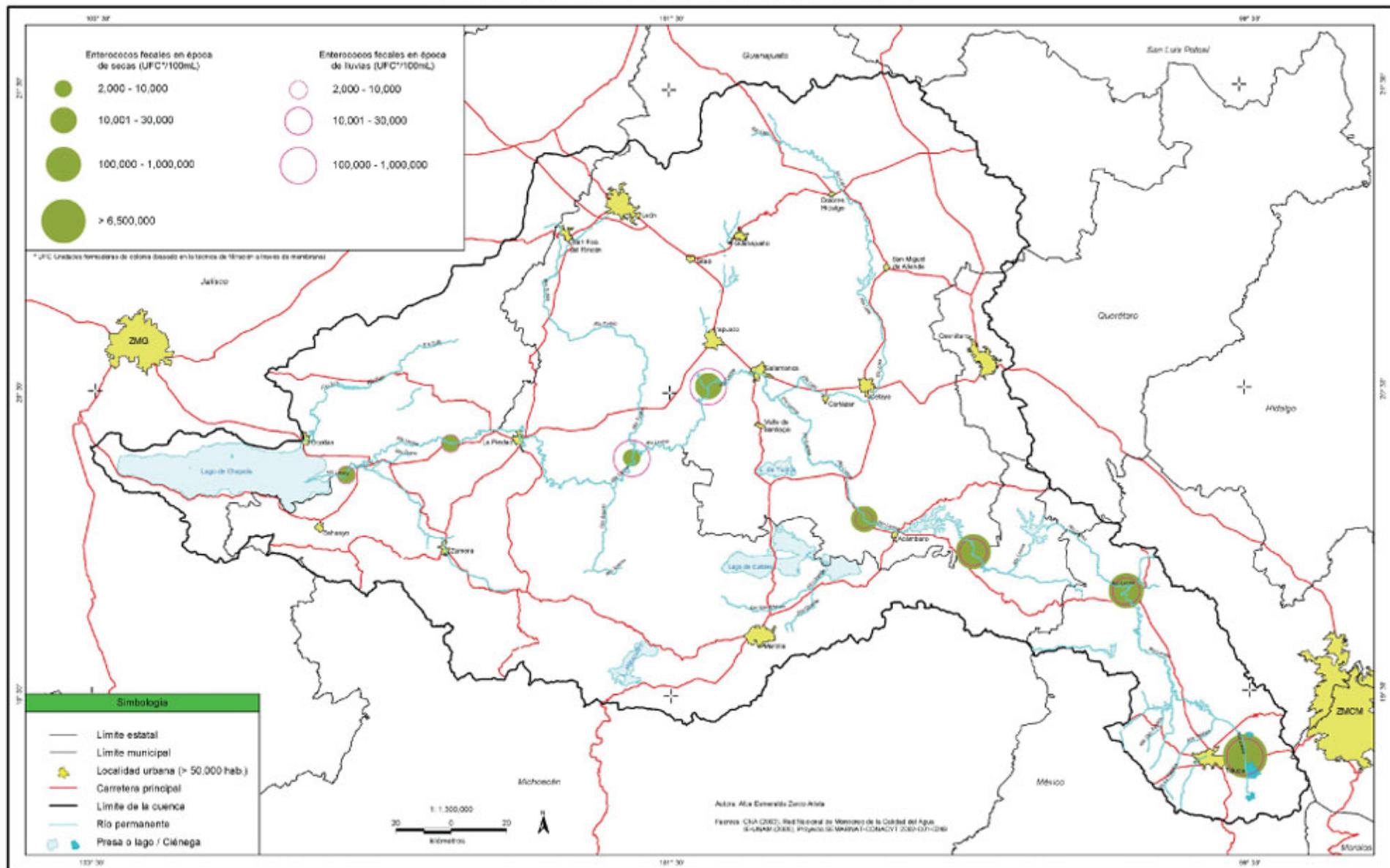
ESTIMACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN SUPERFICIE PECUARIA

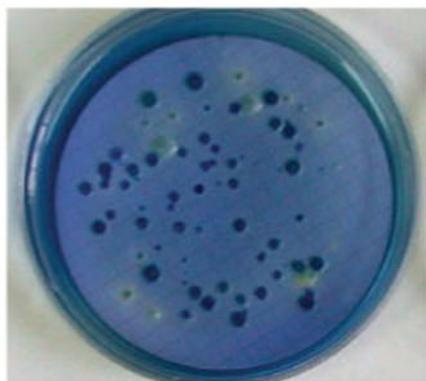


ESTIMACIONES DE ENTEROCOCOS FECALES EN SUPERFICIE PECUARIA



ENTEROCOCOS FECALES EN ÉPOCAS DE SECAS Y DE LLUVIAS





Coliformes fecales.

sitios en el lago de Chapala y en la estación Santa Julia en Guanajuato.

Los conteos de CF se incrementan de 2003 a 2005 para época de lluvias desde el origen del río Lerma; seis veces más en la estación Carretera México-Toluca, y con incremento extremo en Pueblo



Escherichia coli.

Nuevo. Aún cuando no se cuenta con información comparativa para los dos años, en el río Turbio los conteos bacterianos son extremadamente altos (110,000,000 NMP/100 mL).

Considerando el aporte de microorganismos por las actividades pecuarias que se llevan a cabo en la

cuenca Lerma-Chapala, se realizó la estimación de la carga de bacterias coliformes fecales y de enterococos fecales con base en el número de cabezas por municipio como indicadores del aporte de materia fecal proveniente de esta actividad. Especialmente, las cargas microbiológicas para coliformes son altas en Michoacán, Jalisco y estado de México, respecto a Guanajuato y Querétaro. Las cargas microbiológicas estimadas de enterococos muestran altos conteos en Jalisco, estado de México y Querétaro, respecto a Michoacán y Guanajuato. Lo anterior pone en evidencia la importancia de la carga bacteriana que no recibe tratamiento y cuyo destino son los sistemas de agua superficial o subterránea.

Cabe mencionar que el aporte de las zonas urbanas no está considerado en la estimación de la carga bacteriana pero se refleja en los conteos realizados en agua; sin embargo, un aporte de este tipo influye en las condiciones que prevalecen a lo largo de la Carretera México-Toluca y Pueblo Nuevo, donde se reciben cargas provenientes de Salamanca e Irapuato.

Los conteos de enterococos fecales (EF) muestran una tendencia distinta que las coliformes, con conteos altos en la época seca con respecto a época de lluvias, con excepción de los sitios Pueblo Nuevo y La Calle, Guanajuato. Los conteos más altos se observan al inicio del río en el estado de México y Michoacán.

Se llevó a cabo la identificación a nivel de género y especie de las bacterias indicadoras aisladas en 2005 (coliformes totales, coliformes fecales,

enterococos fecales). Se aislaron bacterias de 12 géneros y 18 especies presentes en agua del río Lerma. Las pruebas de Concentración Mínima Inhibitoria para antibióticos muestran que el perfil de *Enterococcus* spp. es sensible a la eritromicina, en contraste con el grupo de enterobacterias en el que se observa resistencia a los antibióticos β lactámicos. Asimismo, la resistencia a antibióticos de las enterobacterias se incrementa en época de secas, no así para los enterococos.

BACTERIA	AMBIENTE	PATÓGENA	OPORTUNISTA
<i>Escherichia coli</i>	X	X	
<i>Enterobacter cloacae</i>	X	X	
<i>Enterobacter agglomerans</i>	X	X	
<i>Vibrio fluvialis</i>	X	X	
<i>Providencia rettgeri</i>	X	X	
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	X	X	
<i>Klebsiella oxytoca</i>	X	X	
<i>Klebsiella ascorbata</i>	X	X	
<i>Enterococcus faecium</i>	X		X
<i>Enterococcus faecalis</i>	X		X
<i>Enterococcus durans/shirae</i>	X		X
<i>Enterococcus avium</i>	X		X
<i>Enterococcus casseliflavus</i>	X		X
<i>Enterococcus durans/shirae</i>	X		X
<i>Enterococcus</i> sp.	X		X
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	X		X
<i>Aeromonas hydrophila</i>	X		
<i>Acinetobacter lwoffii</i>	X		
<i>Haemophilus aplei</i>	X		
<i>Alcaligenes</i> sp.	X		





MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS COMO BIOINDICADORES DE CONTAMINACIÓN

Martín López Hernández

EL INCREMENTO EN EL DETERIORO de la calidad del agua de los ríos, las insuficientes fuentes de financiamiento y los inadecuados recursos tecnológicos para el monitoreo de su calidad son problemas de los países en desarrollo. Los datos son generalmente irregulares en tiempo y calidad y, por ello, la información generada carece de la robustez y confianza necesarias para generar

estrategias adecuadas de manejo y control de los recursos acuáticos (Dudgeon, 1992; Mustow, 2002). Junto con la evaluación de la calidad del agua basada en análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, ha crecido el empleo de técnicas de evaluación con organismos acuáticos en los planes de monitoreo y en los estudios ecológicos. Los moluscos, crustáceos, insectos acuáticos y anélidos de agua dulce que forman parte de los macroinvertebrados del bentos, se usan más que ningún otro grupo de animales o plantas como indicadores biológicos de contaminación del agua. Cada población de macroinvertebrados tiene un nivel de tolerancia a los contaminantes, y refleja en su composición y abundancia las variaciones del medio acuático que produce la entrada y permanencia de éstos (Wilhm, 1975; Hawkes, 1979; Cao *et al.*, 1996; López, 1997).

Como bioindicadores de la calidad del agua, los macroinvertebrados bentónicos son utilizados con mayor frecuencia en los estudios de contaminación de los ríos debido a que:

- Los muestreos son simples y requieren de equipo sencillo, de fácil construcción, como redes de arrastre, redes fijas o redes tipo "Surber".
- Su escasa capacidad de movimiento los expone a las sustancias vertidas en el agua.
- Por sus ciclos de vida, pueden vivir desde semanas hasta meses, calificándose como "organismos centinela" de las diferentes condiciones del agua.
- Abarcan en su conjunto un espectro muy amplio de hábitats y tipos de alimentación.
- La identificación del material biológico no requiere de alta especialización y puede hacerse con esquemas comparativos.

Las respuestas de estas comunidades acuáticas a las perturbaciones ambientales son útiles para evaluar el impacto de distintos tipos de contaminación: residuos municipales, agrícolas, de la industria petrolera e impactos de otros usos del suelo sobre los cursos de aguas superficiales.

A partir de la identificación y abundancia de los macroinvertebrados se calculan los índices biológicos o bióticos, con valores numéricos asignados a

cada grupo o tipo de organismos (familias de moluscos, crustáceos, anélidos e insectos acuáticos) que reflejan grados particulares de sensibilidad o tolerancia a la contaminación (intolerantes, facultativos y tolerantes). Los índices así obtenidos, corresponden en forma significativa con el grado de impacto antropogénico (Thorne y Williams, 1997; Chessman y McEvoy, 1998). Internacionalmente se ha adoptado exitosamente la identificación a nivel familia en los estudios de monitoreo biológico para la evaluación de los grados de contaminación en ríos, sin que sea necesaria la identificación a nivel especie (Hilsenhoff, 1998; Chessman y McEvoy, 1998).

El río Lerma ha sido considerado como uno de los sistemas más contaminados de México en términos



Algunas familias de macroinvertebrados del río Lerma; organismos facultativos, tolerantes a la contaminación.



CAUDAL CLASE	DESCRIPCIÓN	IBE
I	No contaminado	>10
II	Ligeramente contaminado	8 a 9
III	Contaminado	6 a 7
IV	Contaminación alta	4 a 5
V	Contaminación severa	< 4

Tabla 1 Descripción del nivel de contaminación asociado al valor del Índice Biótico Extendido.

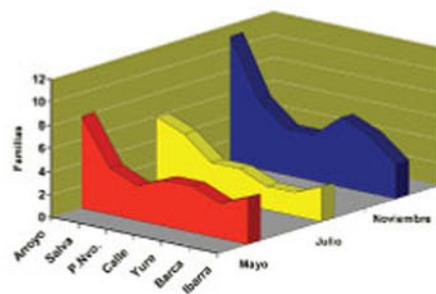


Figura 1 Total de familias de macroinvertebrados y evaluaciones del IBE por mes en las localidades estudiadas en el río Lerma en 1999.

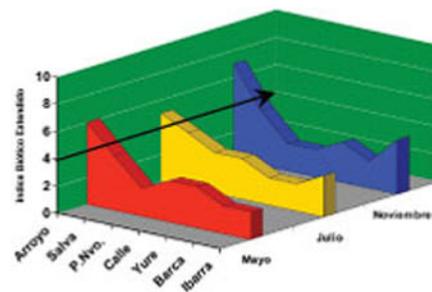


Figura 2 Variaciones del IBE en cada estación estudiada en la cuenca del río Lerma.

agroindustriales y urbanos (Hansen y Van Afferden, 2001); utilizando macroinvertebrados, Bueno *et al.* (1981) encontraron en este sistema que la diversidad disminuía a lo largo del curso del río, e incluso era nula en algunos sitios.

Durante el año 1999 —considerando los meses de mayo (sequía), julio (lluvia) y noviembre (post-lluvia)— se seleccionaron siete localidades de trabajo en el río Lerma (Figura 1); en ellas se evaluaron los niveles de contaminación usando como bioindicadores a las comunidades de macroinvertebrados bentó-

nicos. En cada localidad se efectuaron conteos de organismos por cada familia de macroinvertebrados; con estos datos se calculó el Índice Biótico Extendido (IBE) modificado por Ghetti (1986); los índices —de 0 (contaminación severa) a 10 (no contaminado)— permitieron evaluar el nivel de contaminación de cada sitio del río. En 1999, a lo largo del río, se registraron 4 *Phyla*, 6 Clases, 11 Órdenes y 17 Familias de macroinvertebrados, siendo los insectos acuáticos (efemerópteros, olonatos, hemipteros, coleópteros y dípteros) los más frecuentes en aparición y en número de organismos (Tabla 2). Mas del 90 % de los organismos colectados son considerados como organismos facultativos o tolerantes a la contaminación (Weber, 1973; Wilhm, 1975),

mostrando que, en general, prácticamente no se presentan organismos indicadores de buena calidad del agua en el río y que los encontrados indican deterioro del medio acuático. Tan sólo en el sitio denominado Arroyo San Andrés, afluente del Lerma (antes de Atlacomulco), donde no hay fuentes aparentes de contaminación como en el cauce principal, se registró el mayor número de familias y un IBE Clase III (contaminado); posteriormente descendió la diversidad de macroinvertebrados alcanzando un IBE Clase IV (contaminación alta). En la cuenca Media y Baja, particularmente en Pueblo Nuevo, La Calle, Yurécuaro y La Barca se alcanzó un IBE Clase V (contaminación severa). En noviembre (post-lluvias) se presentó un incremento en la composición

de macroinvertebrados y en las evaluaciones de contaminación, de tal forma que en Arroyo se alcanzó un IBE Clase III (contaminado). Posteriormente, en la cuenca Media y Baja —Salvatierra e Ibarra— se registró una ligera mejoría con un IBE Clase IV (contaminación alta) y las restantes localidades presentaron un IBE Clase V (contaminación severa) (Figuras 1 y 2).

Tabla 2 Índice Biótico Extendido (IBE) aplicado en siete estaciones del río Lerma. El IBE siempre refleja presencia de contaminación. Estas poblaciones de macroinvertebrados están adaptadas a ambientes con contaminación severa o alta. El sitio "Arroyo" tiene mejor condición por ser un afluente de agua menos afectado.

Nº	FAMILIA	Arroyo			Salvatierra			Pueblo Nuevo			La Calle			Yurécuaro			La Barca			Ibarra		
		May	Jul	Nov	May	Jul	Nov	May	Jul	Nov	May	Jul	Nov	May	Jul	Nov	May	Jul	Nov	May	Jul	Nov
1	Physidae			3		4	5							1		1						
2	Sphaeriidae	1				2								1								
3	Erpobdellidae	2				3																
4	Asellidae	1	1	3			1					2	6	1							2	
5	Gammaridae	23	30	12	2					21												2
6	Cambaridae		1	1													1	3				4
7	Baetidae		22	5			2		12													
8	Tricorythidae	10		28																		
9	Coenagrionidae				2							6		2						2		
10	Belostomatidae	1	6	4	2		2															
11	Corixidae				1		1	1		6	21		5			2	1		37	1		3
12	Notonectidae		1					1		2										1		
13	Velidae			5		5										4						
14	Dytiscidae	2		2								1							1	3	3	
15	Hydrophilidae								1				1		2				1			
16	Simuliidae				2				2					3	4							
17	Chironomidae	5	3	8			5	39	20	44		3	2	5	18	8	8	6	3	3	4	
	Familias Totales	8	6	11	4	5	6	3	3	4	4	3	4	4	2	6	3	2	5	4	3	3
	Organismos Totales	45	63	72	7	16	16	41	53	53	31	10	10	8	21	21	10	9	44	8	9	9
	Índice Biótico Extendido	6	5	7	4	4	4	2	3	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	3	4



METALES PESADOS EN LA CUENCA DEL RÍO LERMA

Anne M. Hansen

tidades de metales se introducen en el río Guanajuato por drenajes y lixiviados de jales (Wilson *et al.*, 1950); este río es tributario del Lerma.

En trabajos anteriores se calcularon factores de enriquecimiento de metales respecto a concentraciones de aluminio en sedimentos suspendidos y depositados en estaciones de muestreo en la cuenca Lerma-Chapala (Hansen *et al.*, 1995; Posada Ramos *et al.*, 1994). Estos factores fueron relacionados con valores promedio reportados para la corteza terrestre (Lantzy y MacKenzie, 1979). Se encontraron elevados factores de enriquecimiento para plata, zinc, plomo, níquel, cobre, cadmio y mercurio en sedimentos. Factores de enriquecimiento muy altos fueron encontrados en sedimentos del río Guanajuato para cobre (140), plata (66) y plomo (39) y altos para zinc (4), mercurio (3) y níquel (3). El enriquecimiento de metales fue relacionado con la existencia de jales de áreas mineras en esta zona.

Más recientemente, el desarrollo industrial, municipal y rural de la cuenca contribuye a la carga contaminante en los cuerpos de agua (Hansen y van Afferden, 2001). Los resultados de metales en sedimentos para estimar riesgos se presentan relacionados con sus concentraciones. Las concentraciones promedio se comparan con criterios ecológicos (Persaud *et al.*, 1993) (Tabla 1).

Se observa que los promedios de las concentraciones de arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, manganeso, níquel, plomo y zinc en sedimentos suspendidos de cuatro estaciones de muestreo (río La Laja, Salamanca, La Piedad e Ibarra), no excedieron el criterio SEL (*Severe Effect Level*) para sedimentos altamente contaminados (Persaud *et al.*, 1993). Para sedimentos depositados, las concentraciones promedio de zinc, plomo, cobalto, cadmio, níquel, cromo, arsénico y mercurio de cuatro estaciones muestreadas en 1994 no excedieron los límites antes mencionados. Para el cobre, las concentraciones fueron más altas que el criterio SEL en la estación de muestreo ubicada en el río Lerma a la altura de La Piedad, Guanajuato, con una concentración de 468 mg/kg. Por lo tanto, esta muestra puede ser clasificada como altamente contaminada con cobre. Comparando con otras estaciones de muestreo en el río,

la de La Piedad presentaba elevadas concentraciones de zinc y plomo. Asimismo, las concentraciones de metales en sedimentos depositados en esta estación son significativamente más altas que en sedimentos suspendidos. Esto se puede explicar por los diferentes contenidos de carbono orgánico en las muestras de sedimentos suspendidos y depositados (0.9% y 7.1% respectivamente). El alto contenido de carbono orgánico se explica por la presencia de granjas porcícolas en la región.

Se encontraron concentraciones de cromo en tres estaciones de muestreo con concentraciones mayores al límite SEL de 110 mg/kg (Persaud *et al.*, 1993). En una de estas estaciones, cerca de la confluencia del río Guanajuato con el río Lerma, las concentraciones de cobre y níquel estaban también más altas

que las correspondientes SEL para sedimentos altamente contaminados.

Las concentraciones promedio de ocho metales (cadmio, cromo, cobre, mercurio, manganeso, níquel, plomo y zinc) fueron más altas que los niveles de bajo efecto (LEL, *Low Effect Level*). Estos niveles indican concentraciones de contaminantes en sedimentos, donde se recomienda realizar análisis complementarios. Esto define la necesidad de obtener más información y revisar cada sitio, incluyendo más análisis químicos y biológicos. Una evaluación de riesgos debe contemplar la comparación con sedimentos no contaminados en el área de estudio. Esta información no estaba disponible por lo que no se podía descartar que parte de los metales provinieran de fuentes naturales.

Tabla 1 Concentraciones de metales en sedimentos del río Lerma (adaptada de Hansen y van Afferden, 2001)

METAL	LÍMITE (mg/kg)		1992 SEDIMENTOS DEPOSITADOS (15 ESTACIONES)		1994 SEDIMENTOS DEPOSITADOS (4 ESTACIONES)		1994 SEDIMENTOS SUSPENDIDOS (4 ESTACIONES)	
	LEL ¹	SEL ²	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	D (%)	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	D (%)	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	D (%)
As	6	33	3.70	40.3	n.d.	n.d.	3.0	37.6
Cd	0.6	10	0.10	135.8	1.6	41.0	0.5	44.8
Co	-	-	n.d.	n.d.	27.5	6.3	22.7	55.6
Cr	26	110	62.20	74.4	52.5	11.5	29.5	45.3
Cu	16	110	23.90	82.7	145.3	148.6	53.5	64.1
Hg	0.2	2	0.07	49.5	n.d.	n.d.	0.3	101.1
Mn	460	1,100	375.30	60.0	550.3	38.4	530.6	25.6
Ni	16	75	33.00	82.1	32.8	8.8	24.2	60.8
Pb	31	250	14.30	44.8	32.1	58.2	16.8	21.3
Zn	120	820	93.60	88.4	160.8	75.6	138.8	20.9

1= LEL: Lowest Effect Level. La mayoría de los organismos bentónicos pueden tolerar este nivel. Ha sido derivado de datos de campo sobre co-existencia de concentraciones de metales en sedimentos y especies bentónicas (Persaud *et al.*, 1993).

2= SEL: Severe Effect Level. Este nivel representa concentraciones de contaminantes en sedimentos que potencialmente pueden eliminar la mayor parte de los organismos bentónicos (Persaud *et al.*, 1993).

n.d.=no determinado

LOS METALES PESADOS en la cuenca del río Lerma son originados por procesos naturales y actividades humanas. Los principales procesos naturales son la erosión y el intemperismo por la acción atmosférica sobre yacimientos expuestos, causando la movilización de metales. Comparado con la ocurrencia natural de minerales por erosión, la liberación de metales por la industria minera juega un papel importante durante los últimos siglos. Desde 1548 se explotan minerales en el estado de Guanajuato, principalmente plata y oro con otros metales derivados. Se sospecha que importantes can-

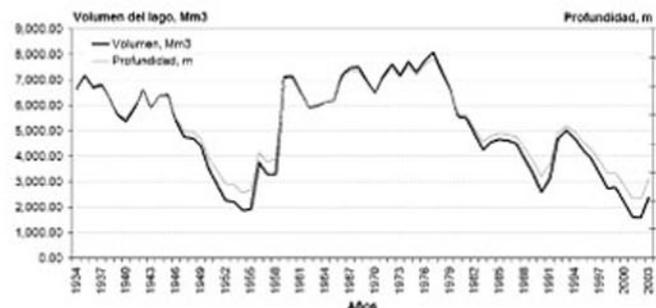
CALIDAD DE AGUA Y EUTROFIZACIÓN EN EL LAGO DE CHAPALA

José de Anda Sánchez y Harvey Shear

ASPECTOS GENERALES DEL LAGO

EN SECCIONES ANTERIORES se ha discutido con detalle el clima, la hidrología y las condiciones de calidad del agua en el río Lerma, así como en las presas y embalses de la cuenca Lerma-Chapala. En esta sección se describen algunos de los aspectos hidrológicos, de calidad del agua y de eutrofización en el cuerpo de agua natural más grande de México y que constituye el punto final de esta cuenca: el lago de Chapala.

Figura 1 Variaciones de volumen y de profundidad media anual del lago de Chapala en el periodo (1934-2003).



Dado que el agua es un recurso limitado en la cuenca y son muchos los usuarios a lo largo de la misma, el lago de Chapala ha perdido su régimen natural desde hace varios años, afectando con ello sus condiciones morfo-métricas tales como el volumen medio de almacenamiento, el área y la profundidad media del lago. Los valores medios de estas variables dependen ahora en gran medida de las políticas de manejo a lo largo de la cuenca, más que de las condiciones climáticas (de Anda *et al.*, 2005).

El lago de Chapala es muy somero, su profundidad media apenas llegó a los 4.83 m (considerando el promedio alcanzado durante el periodo enero de 1934 a mayo de 2004); es por ello que su morfometría varía notablemente con los cambios en el régimen de flujo del río Lerma. En trabajos previamente publicados (de Anda *et al.*, 1998) se ha demostrado que el tiempo de retención hidráulico del lago de Chapala (la relación de volumen del lago entre el flujo que recibe del río Lerma) se ha mantenido relativamente constante durante muchos años, incluso durante la severa sequía de los años 1950. (Figura 1). Sin embargo, a finales de los años 1970 esta situación no pudo sostenerse más debido a la construcción de presas y bordos de retención para satisfacer principalmente las necesidades de suministro de agua para las actividades agrícolas y pecuarias a lo largo de la cuenca del río Lerma (DMCH, 2003; PLADEYRA, 2003; Cotler y Gutiérrez, 2005). El decremento en los flujos tributarios del río Lerma se ha venido traduciendo en un detrimento

en la calidad del agua del lago, ya que todos los compuestos no deseables que están disueltos en la columna de agua van incrementando su concentración o se integran a los sedimentos, afectando con ello a la biota de este ecosistema.

EL ENRIQUECIMIENTO DE NUTRIENTES Y LA EUTROFIZACIÓN

El lago de Chapala es importante pues incorpora todos los beneficios posibles que pueden obtenerse de un lago: la recreación, el abastecimiento de agua para uso municipal y para riego agrícola, la producción pesquera y los deportes acuáticos, entre otros. Desafortunadamente, este cuerpo de agua recibe grandes cantidades de contaminantes y sólidos a través del río Lerma, su principal tributario (Jay y Ford, 2001; de Anda *et al.*, 2000, 2001b). Aguas residuales domésticas e industriales, nutrientes y materia orgánica procedentes de los escurrimientos de extensas áreas agrícolas y pecuarias de la cuenca, así como los procesos erosivos derivados de la deforestación, han ocasionado un creciente deterioro de la calidad del agua de este lago. Se observa un incremento sensible de algunos parámetros de calidad de agua tales como la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, los sólidos disueltos, el amonio y los fosfatos (Tabla 1), estos dos últimos responsables de la producción de algas y maleza acuática en el lago como indicadores del proceso de eutrofización (de Anda y Shear, 2001; Shear y de Anda, 2005). Igualmente las altas concentraciones de coliformes fecales son una muestra de la presencia de descargas de aguas residuales sin previo tratamiento.

Las altas concentraciones de nutrientes que lle-



Tabla 1 Calidad del agua en el lago de Chapala para tres periodos de tiempo.*

PARÁMETRO	1974-79	1980-89	1990-98
Temperatura (°C)	22.05	22.08	21.78
pH	8.58	8.66	8.54
Oxígeno Disuelto (mg/L)	6.84	6.87	7.13
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	1.53	1.73	2.01
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	17.21	24.27	34.97
Alcalinidad total (mg/L)	186.85	247.44	293.25
Dureza total (mg/L)	147.79	190.66	218.16
Sólidos totales (mg/L)	374.21	617.8	748.26
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	22.44	34.57	47.09
Sólidos disueltos totales (mg/L)	351.77	583.23	698.97
Nitrógeno orgánico (mg/L)	0.96	-	1.35
Nitrato (mg/L)	0.51	0.33	0.24
Amonio (mg/L)	0.14	0.12	0.43
Fosforo total (mg/L)	0.40	0.62	0.56
Fosfatos (mg/L)	0.17	0.40	0.37
Coliformes fecales (c/ML/100 mL)	1,862	2,203	1,501

*Promedios obtenidos con base a mediciones efectuadas en 25 estaciones limnetes y nueve estaciones litólicas (Ena, 1998)



gan al río Lerma y posteriormente al lago de Chapala son los principales promotores del crecimiento de maleza acuática, tales como el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y el tule (*Typha latifolia*), que en los últimos años han aumentado de manera importante en la desembocadura del río Lerma y en las partes someras de la ribera del lago. En 1993 la cobertura de lirio acuático alcanzó los 135 km², aproximadamente un 13% de la superficie total del lago (INEGI, 1995). En estudios recientes se han identificado 226 especies de algas en el lago de

Chapala, de las cuales la división Chlorophyta fue la más abundante. Sin embargo, cabe señalar que 55 de éstas corresponden al género de las *Cyanophyta*, que producen malos olores en el agua, al tiempo que su descomposición libera sustancias tóxicas que pueden causar problemas de salud en la población. Algas como la *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flos-aquae* y *Anabaena aff. flos-aquae* podrían servir como indicadores de eutrofización en este cuerpo de agua (Mora Navarro, 2004). Aún es materia de discusión si es el nitrógeno o el fósforo es el nutriente

limitante en el lago (Lind y Dávalos, 2001; Lind, 2001) o incluso en otros lagos del Eje Neovolcánico Transversal (ENT) como el de Pátzcuaro (Bernal Brooks *et al.*, 2003) o el de Zapotlán (Ortiz Jiménez *et al.*, 2006a). Estudios recientes cuestionan incluso los criterios previamente establecidos para determinar los estados tróficos en lagos tropicales y subtropicales (Ortiz Jiménez *et al.*, 2006b).

LOS SEDIMENTOS Y LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL LAGO

Por otra parte, tal como se señala en trabajos previos (de Anda y Shear, 2001; Shear y de Anda, 2005) las cargas de nitrógeno y fósforo en el lago de Chapala son en extremo abundantes, por lo que se cuenta con las condiciones necesarias para generar una floración importante de algas y macrófitas (Figuras 2 y 3). Sin embargo, la producción de fitoplancton y macrófitas no ocurre en la medida que se esperaría con tal cantidad de nutrientes disueltos en la columna de agua, debido a que existen factores abióticos que impiden que se lleve al cabo plenamente el proceso de fotosíntesis. El más importante de estos factores es la concentración de sólidos en el lago (Figura 4). Los procesos erosivos a lo largo de la

cuenca —causados por deforestación y los cambios en el uso de suelo— han arrastrado una gran cantidad de sólidos al lago que se mantienen constantemente en suspensión, debido a los vientos propios de la cuenca del lago y a las características de las partículas que constituyen los sedimentos del fondo del lago (de Anda *et al.*, 2004). Adicionalmente, estos sólidos arrastrados desde la cuenca del río Lerma constituyen el mecanismo de soporte y transporte de otros contaminantes tales como metales pesados, hidrocarburos policíclicos aromáticos y plaguicidas organoclorados (Hansen y Van Affenden, 2001).

En estudios recientes (de Anda *et al.*, 2004) se ha observado que existe una estrecha relación entre la altura del tirante hidráulico del lago (profundidad media) y la concentración de sólidos disueltos: en la medida que el lago tiene menos volumen de almacenamiento se va haciendo más importante la concentración de sólidos disueltos, generando con ello cambios en la coloración del agua y una menor transparencia. Una profundidad media mayor a cinco metros sería muy adecuada para conservar un nivel bajo de concentración de sólidos disueltos en este cuerpo de agua. (Figura 5)



Figura 2 Distribución espacial de la concentración media anual de fósforo (P) en el lago de Chapala para el año 1996.

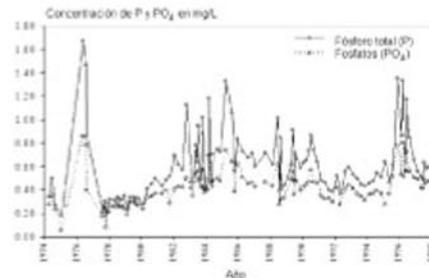


Figura 3 Variación de la concentración promedio mensual de fósforo total (P) y fosfatos (PO₄) en la columna de agua del lago de Chapala en el periodo 1974-1998.



Figura 4 Distribución de la concentración promedio de sólidos totales en el lago de Chapala en el periodo 1974-1979.

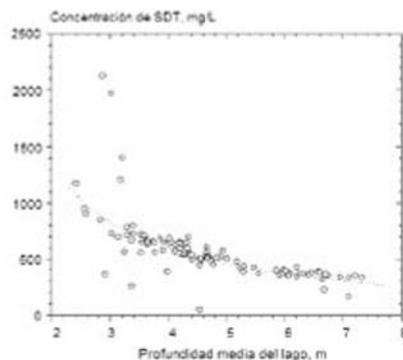


Figura 5 Relación de la concentración media anual de sólidos disueltos totales en la columna de agua y la profundidad media anual del lago de Chapala durante el periodo 1974-1998.



METALES PESADOS EN EL LAGO DE CHAPALA

Anne M. Hansen

SE LLEVÓ A CABO UNA EVALUACIÓN de contaminación por metales en sedimentos de 20 estaciones de muestreo en el lago de Chapala (Hansen y van Afferden, 2001). Las concentraciones promedio y desviación estándar de los metales se presentan en la Tabla 1. Se observa que todas las concentraciones fueron menores a los límites clasificados como de efectos severos a los ecosistemas ("Severe Effect Level", SEL) para sedimentos contaminados.

Concentraciones promedio muestran que cinco metales (arsénico, cromo, cobre, manganeso y níquel) fueron más altos que los niveles de baja afectación (LEL). Tres de ellos (cromo, cobre y níquel) presentan también concentraciones arriba de estos niveles en sedimentos de los ríos, sugiriendo que están siendo transportados al lago por el río Lerma.

Como es de esperarse por la situación geográfica, las desviaciones estándar de los promedios de metales en sedimentos del río son más altas que para los promedios en sedimentos del lago (Figura 1). Esto se explica por la existencia de diversas fuentes puntuales a lo largo de la cuenca del río Lerma (Hansen y van Afferden, 2001). También sugieren que el lago de Chapala es un sistema bien mezclado, dado que las concentraciones de metales en sedimentos de diferentes estaciones no presentan variaciones considerables.

Hansen y van Afferden (2001) compararon los resultados de los muestreos en los ríos y el lago. Observaron una tendencia a que los sedimentos del lago tienen concentraciones de metales ligeramente

mayores que los sedimentos del río, lo que sugiere que los metales tienden a acumularse en el lago con el tiempo.

Excepciones fueron encontradas para concentraciones promedio de manganeso y arsénico. Con una significancia de 99%, las concentraciones de ambos metales fueron más altas en el lago que en los ríos (Figura 1).

Resultados de Shine *et al.* (1998) indican la existencia de una fuente directa de arsénico en el lago, debido probablemente a la existencia de fuentes termales en el fondo del lago (Amezcuca, 1993).

Tabla 1 Concentraciones de metales en sedimentos del lago de Chapala (adaptada de Hansen y van Afferden, 2001).

METAL	LÍMITE (mg/kg)		1993 SEDIMENTOS DEPOSITADOS (20 ESTACIONES)		1994 SEDIMENTOS DEPOSITADOS (1 ESTACIÓN)		1994 SEDIMENTOS SUSPENDIDOS (1 ESTACIÓN)	
	LEL1	SEL2	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	D (%)	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	CONCENTRACIÓN (mg/kg)	
As	6.0	33	17.4	135.1	n.d.	2.3		
Cd	0.6	10	0.1	32.9	0.7	1.3		
Co	-	-	n.d.	n.d.	25.0	21.8		
Cr	26.0	110	62.8	16.6	32.0	36.5		
Cu	16.0	110	28.4	22.9	80.0	20.0		
Hg	0.2	2	0.1	51.4	n.d.	0.7		
Mn	460.0	1,100	827.2	21.7	340.0	816.0		
Ni	16.0	75	50.5	13.9	35.0	30.9		
Pb	31.0	250	17.2	26.7	19.1	20.1		
Zn	120.0	820	96.8	14.5	67.0	158.0		

1 = L1: Lowest Effect Level. La mayoría de los organismos bentónicos pueden tolerar este nivel. Ha sido derivado de datos de campo sobre co-existencia de concentraciones de metales en sedimentos y especies bentónicas (Pesaud *et al.*, 1993).

2 = S1: Severe Effect Level. Este nivel representa concentraciones de contaminantes en sedimentos que potencialmente pueden eliminar la mayor parte de los organismos bentónicos (Pesaud *et al.*, 1993).

n.d. = no determinado.

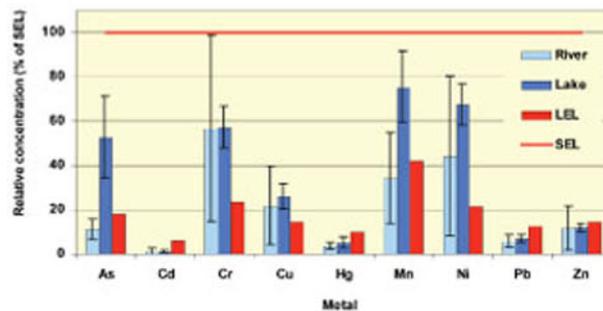


Figura 1 Comparación de concentraciones de metales en sedimentos del río Lerma y lago de Chapala con los criterios ecológicos propuestos por Pesaud *et al.* (1993). Fuente: Hansen y van Afferden (2001).

COMPUESTOS ORGÁNICOS

Marisa Mazari Hiriart y José de Anda Sánchez

EL MINISTERIO DE CALIDAD DE AGUA en la cuenca Lerma-Chapala se ha basado históricamente en la medición de compuestos de tipo inorgánico y conteo de bacterias indicadoras; recientemente se han utilizado organismos invertebrados como indicadores.

La problemática que representan los compuestos de tipo orgánico como los residuos de plaguicidas (fungicidas, fungicidas, insecticidas, herbicidas, entre otros), los residuos tanto líquidos como sólidos que contienen compuestos persistentes —como por ejemplo disolventes— producidos por las actividades industriales, así como los derivados de la industria petrolera con compuestos de tipo aromático derivados de combustibles, no ha sido evaluada, salvo en sitios y eventos puntuales (*i.e.* Guadalajara y Salamanca).

Las aguas de retorno agrícola producidas en grandes extensiones de cultivo apuntan a ser una fuente difusa con un gran aporte de este tipo de compuestos para la cuenca y se recomienda prestar atención a esta contribución que tiene como consecuencia una mayor degradación ambiental y representa un riesgo a la salud de los pobladores, así como para la producción agrícola de la región. Deben considerarse también aportes provenientes de fuentes puntuales como son las zonas industriales y urbanas, que contribuyen con una compleja mezcla de compuestos de tipo orgánico, así como aportes de fuentes lineales como son los ductos que transportan productos de refinación del petróleo, con efectos en los sistemas de agua subterránea.

Tampoco se ha investigado a fondo sobre temas recientes como son la resistencia a antibióticos y los disruptores endocrinos (hormonas), que afectan tanto a humanos como a organismos acuáticos y por lo tanto a la salud de los ecosistemas. Más recientemente se han iniciado investigaciones para conocer los efectos de los productos de atención corporal (cremas, bronceadores, etc.) sobre los ecosistemas acuáticos. La importancia de estos compuestos estriba en que existen efectos en la salud pública aún no valorados o cuantificados, y cuyas concentraciones generalmente son del orden de ppb o µg/L o bien hasta en ppt o ng/L. Se siguen llevando a cabo investigaciones a nivel mundial para mostrar los

daños que pueden llegar a causar estos compuestos en el hígado, riñones y sistema nervioso central, dado que son carcinogénicos y causan daños que son irreversibles.



PRESAS Y BORDOS

Helena Cotler Ávalos

Las políticas de desarrollo llevadas a cabo en la cuenca Lerma-Chapala, basadas en el impulso industrial y la instalación de una agricultura intensiva, fueron acompañadas de la construcción de importantes obras hidráulicas, como fueron los acueductos del sistema Lerma (inaugurado en 1951), el sistema Cutzamala (1982) y varios centenares de presas y bordos distribuidos a lo largo de la cuenca.

Actualmente en la cuenca existen un total de 552 presas y bordos,¹ es decir una presa o bordo por cada 97.1 km². El 25% de las presas son grandes (según la clasificación ICOLD), 14% son medianas y 43% son chicas, desconociéndose el tamaño de un 18% de ellas. La distribución de presas por sub-cuencas de la cuenca Lerma-Chapala es bastante heterogénea. Más del 50% del total de presas se concentran en cinco sub-cuencas: Solís (78 presas), Lerma (62 presas), Duero (54 presas), Tepuxtepec

(49 presas) y Alto Lerma (43 presas). Mientras que algunas sub-cuencas, como Iztahuachacolo y Yuriria no presenta ninguna presa.² Las obras de represamiento pueden sub-dividirse principalmente en presas y bordos, los cuales difieren en su construcción y utilización. Las sub-cuencas más grandes presentan un mayor número de presas y bordos. Las sub-cuencas Antonio Alzate, Solís, Duero y Tepuxtepec presentan un mayor número de bordos que de presas. Esta situación tiene implicaciones en el número de arroyos que se están capturando y cuyo flujo hidrológico se está alterando.

Siguiendo con los planes de desarrollo que se plantearon para esta cuenca, el propósito con el cual se construyeron estas obras se orientó principalmente para riego (50.9%, 281 presas). Muchas de estas presas están asociadas al riego de los 8 Distritos de Riego y en menor medida con las 16,000 unidades de riego, aunque el abastecimiento de agua de éstas últimas proviene especialmente de pozos. Sin embargo, la eficiencia en el uso del agua de estas presas así como su calidad son discutibles (Mollard *et al.* 2005 y véase López y Seldén, en esta publicación). Por otro lado, la construcción de presas orientadas para riego y abrevadero representan el 20.1% y para el control de avenidas el 2.8%.

El nivel de almacenamiento de las presas es muy variable de un año a otro, pudiendo variar de 0 a 100%, lo cual representa una limitante considerable para la elección de los cultivos (Gueguen, 2005).

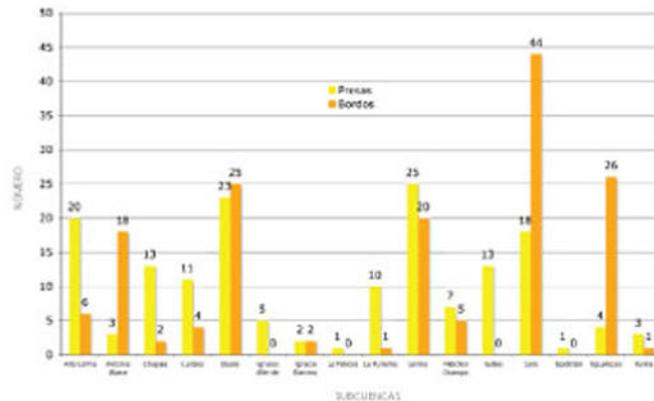
Más del 60% de las presas se encuentran en la zona de captación de la cuenca, recibiendo los sedi-

mentos productos de la erosión hídrica que se concentra tanto en las laderas de la zona de cabecera como de captación (ver capítulo *Degradación de suelos*). Aunque actualmente no existe información completa y actualizada que nos permita conocer el grado de azolvamiento de todas las presas, diversos estudios mencionan que el escaso mantenimiento está provocando una seria reducción de la cantidad de agua efectiva

almacenada. Como ejemplo, según datos del DOR 013 hay una pérdida de 12 millones de m³ para la unidad de Jalpa y Santa Ifigenia (Gueguen, 2005).

Un aspecto importante en el debate sobre las presas se refiere al impacto ambiental que estas estructuras originan en los ecosistemas, causando múltiples cambios, como aquellos de los patrones naturales de flujo del agua, de la fragmentación de la conectividad de los ecosistemas fluviales y sobre la interrupción del flujo y los pulsos que mantienen a los hábitats riparios. La introducción de estos cambios sobre el flujo natural del agua provoca el aislamiento de poblaciones e interrumpe las migraciones de otras especies, modificando la calidad del agua "presa abajo" en relación a los cambios de temperatura, cantidad de nutrientes, turbidez, gases disueltos, concentración de metales pesados y minerales (Mc Cully, 1995). Los problemas de calidad de agua en los ríos y el lago de la cuenca (ver capítulos de calidad de agua) también son reflejo del represamiento y la fragmentación de los cursos de agua.

Otro efecto importante constituye los cambios de la morfología del sistema hidrológico, lo cual no sólo influye en la miriada de fauna y flora que se habían adaptado a los flujos y los cambios estacionales, sino que aumenta la vulnerabilidad de la cuenca ante eventos hidrometeorológicos extremos, provocando



inundaciones en las partes bajas de la cuenca (como sucedió con las lluvias del 2003).

Estos impactos que aún no están siendo evaluados ni en la cuenca Lerma-Chapala, ni en el resto del país, deben comenzar a considerarse para generar una aproximación más real del costo-beneficio socio-ambiental que implica la construcción de una presa.

Por otro lado, es urgente que estas obras hidráulicas destinen una cantidad de agua necesaria para mantener los ecosistemas dulce acuícolas. Este caudal ambiental o ecológico en una cuenca debería asegurar la suficiente cantidad de agua distribuida en un patrón lo más normal posible, con parámetros físico-químicos y biológicos de calidad de agua apropiados. Con ello se buscaría mantener el carácter, extensión y condición de los hábitats acuáticos y riparios que aseguren los bienes y servicios que la sociedad espera recibir de esos ecosistemas.

¹ La información completa sobre insumos y metodología utilizada para la realización del inventario de presas se puede consultar en Cotler y Gutiérrez (2005) (http://www.ine.gov.mx/dgoec/cuencas/download/inv_eval_presas.pdf).

² Aunque se realicen actividades extractivas de agua para el consumo o para el riego desde los lagos, para efectos de este estudio no se les está considerando como presas ya que su represamiento es natural, no obstante, algunos autores consideran a Yuriria como presa.

Presa Ignacio Allende: la liberación de un cierto caudal permite la conservación del ecosistema ribereño.





CALIDAD DEL AGUA EN LAS PRESAS

Jacinto Elías Sedeño Díaz y
Eugenia López López



Izquierda: muro de la presa Solís; enmedio: efuente de la presa Ignacio Allende con las compuertas abiertas; derecha: vertedor de demasías en la corbina de Tepuxtepec, desde el interior de la presa.

Considerando que los embalses son la principal reserva de agua en esta cuenca, es importante conocer su calidad respecto al uso a que se destina y considerar, en su caso, la necesidad de darle tratamiento previo al uso. El muestreo de lagos y embalses con el propósito de evaluar la calidad del agua es un proceso complejo, así como también la interpretación de los datos obtenidos (Thomas *et al.*, 1992). Un Índice de Calidad del Agua (ICA) es un indicador de la calidad del agua obtenido por agregación de varias medidas de calidad en un solo número, simplificando así la expresión de un conjunto complejo y multidimensional de parámetros (Bordalo *et al.*, 2001; Thanh *et al.*, 1990; Štambuk-Giljanović, 2003). Durante diciembre de 2003 y agosto de 2004 se evaluó la calidad del agua en 11 presas de la cuenca Lerma-Chapala mediante el índice de calidad del agua propuesto por Dinius (1987). Las presas estudiadas se localizan dentro de las regiones hidrológicas prioritarias establecidas por la Comisión Nacional del Agua para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (Arriaga 2002), y se distribuyen en las cabeceras de algunos tributarios del río Lerma (*i.e.* Loma Caliente, Umécuaro, Tepetitlán y Francisco J. Trinidad Fabela), cercanas a asentamientos urbanos o industriales (Ignacio Allende, Coitzio, Tepuxtepec), así como también inmersas en zonas agrícolas y pecuarias (Aristeo Mercado "Wilson", Potrerillos, El Carmen e Ignacio Ramírez); sin embargo, todas están sujetas a algún tipo

de presión antropogénica (Mapa página 154). El ICA utilizado se basa en una escala de 0 a 100, donde la calificación de 100 equivale a la mejor calidad del agua, mientras que cero corresponde a un agua extremadamente contaminada o deteriorada. La evaluación de calidad del agua con base en un índice nos permite evaluar el recurso y comparar sus valo-

res entre diferentes cuerpos de agua, obteniendo una apreciación de la disponibilidad del mismo en cuanto a calidad, con base en una calificación única. Los ICA obtenidos (Tabla 1) indican que la calidad del agua en las 11 presas estudiadas se encuentra entre 60 y 79 unidades. La Figura 1 muestra el valor promedio anual de cada uno de los embalses, en

DE ACUERDO CON MESTRE RODRÍGUEZ (1994), el sistema hidráulico que se maneja en la cuenca para la administración del recurso hídrico del río Lerma se basa en presas de almacenamiento. En este sentido, el Instituto Nacional de Ecología (Cotler y Gutiérrez, 2006) reconoce en la cuenca 552 obras hidráulicas de almacenamiento, de diversas dimensiones, que permiten aprovechar el agua durante la época de lluvias y la utilización del recurso durante el resto del año.

EMBALSE	ESTADO	ICA ($\bar{x} \pm D.S.$)	USO DEL RECURSO
Loma Caliente	Michoacán	79.15 \pm 4.36	Riego agrícola
Umécuaro	Michoacán	77.32 \pm 4.89	Riego agrícola
Tepetitlán	Estado de México	71.05 \pm 4.95	Riego agrícola
Trinidad Fabela	Estado de México	70.72 \pm 4.00	Recreativo y riego agrícola
Potrerillos	Guanajuato	70.46 \pm 4.51	Riego agrícola
Aristeo Mercado	Michoacán	67.22 \pm 2.96	Riego agrícola
Coitzio	Michoacán	66.17 \pm 3.88	Abastecimiento público
Ignacio Ramírez	Estado de México	65.82 \pm 2.79	Riego agrícola y control de avenidas
Ignacio Allende	Guanajuato	63.51 \pm 4.83	Riego agrícola y control de avenidas
Bordo El Carmen	Guanajuato	63.27 \pm 4.03	Riego agrícola
Tepuxtepec	Michoacán	60.37 \pm 1.78	Generación de energía eléctrica

Tabla 1 Valores del Índice de Calidad del Agua y usos del agua.

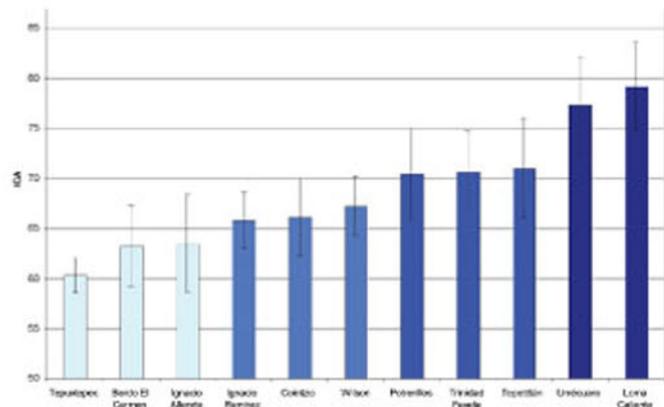


Figura 1 Valores promedio anuales del ICA por cada embalse

donde se puede observar un gradiente altitudinal, con respecto a la ubicación de los embalses y su calidad. Los embalses ubicados en las partes más altas muestran valores de ICA por arriba de 70 y los embalses ubicados en las partes medias o bajas de la cuenca presentan valores inferiores a este último. Las presas ubicadas en partes altas de los tributarios del río Lerma que no están expuestas a fuertes

impactos antropogénicos presentaron en promedio los mejores valores de ICA (Loma Caliente, Umécuaro y Trinidad Puebla). Los embalses localizados en las inmediaciones de zonas agrícolas (Potrerillos y Tepetitlán), rurales (Tepuxtepec, Wilson, Ignacio Ramírez y El Carmen) y urbanas (Ignacio Allende y Cointzio), están expuestos a mayor impacto, por lo que el deterioro de la calidad

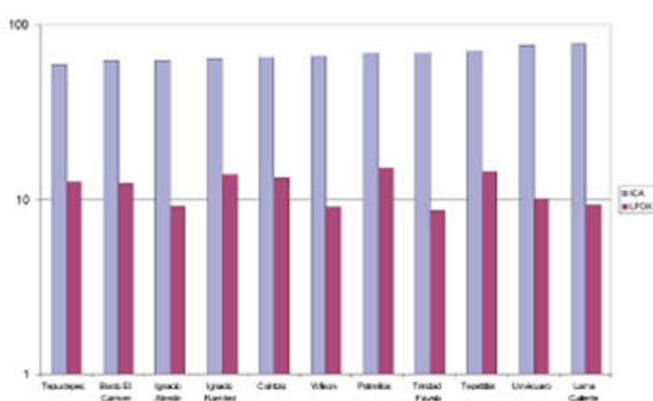


Figura 2 Comparación del ICA (en escala logarítmica) con los valores de lipoperoxidación (nmoles malondialdehidomg de proteína)

del agua presenta un gradiente en ese sentido. También reciben estos últimos embalses mayor carga de nutrientes provenientes de fuentes puntuales (descargas de aguas residuales municipales e industriales), no puntuales (aguas de retorno agrícola) y de los tributarios que confluyen en éstas. Los usos primarios de los embalses estudiados se presentan en la Tabla 1, en la cual se puede observar que

la mayor proporción del recurso almacenado se destina para el uso agrícola. Sin embargo, los embalses no tienen un uso único; alternativamente se practica la acuicultura extensiva mediante la siembra de especies exóticas de importancia comercial dentro de las pesquerías de agua dulce (carpa y tilapia), al tiempo que se utilizan para recreación sin contacto primario y para abrevadero. De acuerdo con los niveles del ICA obtenidos, sólo aquellos embalses que presentaron valores de ICA por arriba de 70 unidades demuestran tener una calidad del agua apta para la mayoría de los usos a los cuales se destinan. Sólo uno de los embalses estudiados (Cointzio) presenta como uso oficial el abastecimiento público; sin embargo, este cuerpo de agua presentó valores de ICA relativamente bajos, por lo que su calidad no sería la más apropiada para ese fin.

Adicionalmente al estudio del ICA, se realizó la determinación del nivel de lipoperoxidación (LPOX) mediante un bioensayo estático con *Ankistrodesmus falcatus*, un alga verde de amplia distribución en los embalses estudiados, como medida para evaluar el impacto de las aguas sobre los organismos acuáticos por la presencia de otros contaminantes no contemplados por el ICA. La LPOX involucra la oxidación de ácidos grasos poli-insaturados como consecuencia del estrés oxidativo provocado por la presencia de radicales libres (Van der Oost *et al.*, 2003).



FOTO: ARCHIVO FOTOGRÁFICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL AGUA (ITA)



La especie *Ankistrodesmus falcatus* se expuso a las aguas de los diferentes embalses durante un periodo de 24 horas, y posteriormente se determinó el valor de la LPOX mediante la técnica de Hestrin (1949), para evidenciar el estrés oxidativo generado por la presencia de xenobióticos.

Se puede observar (Figura 2) que los embalses con menor calidad del agua exhiben valores altos de LPOX, aunque también se presentan embalses con

valores altos de calidad del agua pero que muestran asimismo altos niveles de LPOX; esto pone de manifiesto que en esos embalses están presentes contaminantes que no están contemplados en el ICA pero que representan un riesgo potencial para la biota que habitan en ellos. La LPOX tiene que ver con la presencia de radicales libres que dañan la membrana celular, que en este caso están actuando sobre *A. falcatus* (que es un organismo unicelular), y pueden

tener como consecuencia la muerte celular y por tanto la del organismo.

El ICA nos permite una evaluación de las condiciones fisicoquímicas del agua, pero no permite evidenciar la presencia de otros compuestos potencialmente peligrosos para los organismos acuáticos y que pueden resultar también en un riesgo para los usuarios del recurso. Por lo anterior, es posible mencionar que dado el amplio número de sustancias que se vierten

a los cuerpos de agua, no es suficiente el monitoreo fisicoquímico, es necesario el monitoreo biológico para evaluar el daño que los contaminantes o la mezcla de éstos provoca sobre los organismos acuáticos. Así, la concentración de contaminantes medida en los cuerpos de agua no da cuenta de los daños provocados en los organismos acuáticos ya que, además, la mezcla de xenobióticos puede generar efectos sinérgicos, antagónicos y de potenciación que afectan su salud.

EUTROFIZACIÓN EN LAS PRESAS

Jacinto Elías Sedeño Díaz
y Eugenia López López

LA EUTROFIZACIÓN ES UN PROCESO de sucesión que involucra el enriquecimiento de nutrientes en los cuerpos de agua y conduce a la senectud lacustre, con la consecuente sustitución del ambiente acuático por el terrestre. En forma natural este fenómeno se lleva a cabo en miles de años. Las actividades antropogénicas han contribuido a que el proceso se vea acelerado por el ingreso de aguas residuales ricas en nutrientes, que además van acompañadas de otros contaminantes; en este caso el proceso se conoce como eutrofización cultural o antropogénica (Welch y Jacoby, 2004).

El Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala (CNA, 1994), considera que se descarga un gasto aproximado de 44 m³/s de aguas residuales municipales a la cuenca del río Lerma. Con respecto a los contaminantes, se estima que anualmente se descargan 72,800 toneladas de materia orgánica medida como demanda bioquímica de oxígeno. Asimismo, se tienen identi-

ficadas 560 principales industrias que generan un gasto de 2.4 m³/s de aguas residuales que se vierten directamente al río Lerma o a sus afluentes, lo que representa una carga contaminante de 96,250 toneladas de materia orgánica por año. Por ello, la cuenca recibe anualmente una carga contaminante de al menos 169,050 toneladas, medidas como DBO₅. Por su parte, la Red Nacional de Monitoreo de Calidad del Agua a cargo de la Comisión Nacional del Agua, sitúa desde hace tiempo al río Lerma con los más bajos índices de calidad del agua: 40 unidades promedio (Vázquez Gutiérrez, 1994). El Programa Hidráulico de la Región Lerma-Santiago-Pacífico (CNA, 2002) menciona que actualmente la calidad del agua del río Lerma y algunos de sus tributarios presentan incluso valores inferiores a 30, como es el caso de su parte alta. Así también se han registrado valores de DBO₅ de 66.9 mg/L en Almoloya del Río, en la porción alta de la cuenca (SEMARNAT, 2002).

En virtud de que la cuenca del río Lerma posee un gran número de embalses artificiales para el almacenamiento y racionalización del recurso hídrico y que son además receptores de cantidades importantes de materia orgánica, es necesaria una evaluación de su condición trófica para valorar su estado funcional como cuerpo de agua.



La presente contribución se enfoca a identificar el grado de avance de la eutrofización en 11 embalses artificiales de la cuenca del río Lerma.

Para la selección de embalses a estudiar se tomó en consideración el criterio de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) en el que se señalan las áreas prioritarias para la cuenca del río Lerma (Arriaga *et al.*, 2002), también se consideró que los embalses seleccionados tuvieran diversos usos: riego agrícola, generación de energía eléctrica, abastecimiento público y control de avenidas. Así también, se incluyeron tres embalses —no considerados en las zonas prioritarias— que por su localización y usos son de importancia para la cuenca (Tabla 1 y Mapa).

Se realizaron cuatro muestreos (noviembre de 2003, marzo, mayo y agosto de 2004), que obtuvieron registros *in situ* de distintas variables ambientales, así como muestras de agua para su análisis fisicoquímico en laboratorio y muestras de plancton para su identificación y cuantificación. Además se incluyeron los factores registrados en campo y las determinaciones en laboratorio (Tabla 2).

Una ordenación por análisis de componentes principales (ACP) de los factores ambientales registrados

REGIONES HIDROLÓGICAS PRIORITARIAS	CUERPOS DE AGUA SELECCIONADOS
Cabeza del río de La Laja	Begón (Ignacio Allende)
Pátzcuaro y cuencas endorreicas cercanas	Coitío, Umécuaro, Wilson (Anstee Mercado) Loma Caliente
Humedales de Jilotepac-Itlahuaca	Trinidad Fabela (Francisco J. Trinidad Fabela) Tepetitlán
Cabeza del río Lerma	Ignacio Ramírez
No incluidos en las zonas prioritarias	Tepustepec, Poterillos, El Carman

Tabla 1 Embalses estudiados y regiones hidrológicas prioritarias de la CONABIO en las que se ubican.

en campo y los determinados en laboratorio mostró un gradiente ambiental en el que se ubican los embalses estudiados (Figura 1). En el diagrama se observa que la conductividad y los sólidos totales disueltos (indicadores de mineralización), así como



los nutrientes (N inorgánico en diferentes formas y los ortofosfatos) y la clorofila-a, son los factores que permitieron la ordenación de los embalses en grandes grupos. Un primer grupo se localiza en el extremo izquierdo del diagrama de ordenación y está conformado por los reservorios Wilson, Cointzio, Ignacio Allende, Ignacio Ramírez, Tepuxtepec y El Carmen, que se diferencian de los embalses estudiados por su alto grado de mineralización, enriquecimiento de nutrientes y altos valores de clorofila *a*, así como por ser de los más turbios. Estas condiciones los ubican como los cuerpos de agua con mayor grado de eutrofización en la cuenca. Dentro de este grupo de embalses con condiciones más eutróficas es posible a su vez diferenciar tres subgrupos: los cuer-



FOTO: MICHAEL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA)

Tabla 2 Factores ambientales estudiados.

REGISTROS EN CAMPO	DETERMINACIONES EN LABORATORIO
Altitud (msnm)	Nitratos (mg/L)
Temperatura del agua y del aire (°C)	Nitritos (mg/L)
Oxígeno disuelto (mg/L)	Amonio (mg/L)
pH	Ortofosfatos (mg/L)
Transparencia de Secchi (cm)	Alcalinidad (mg/L)
Radiación fotosintéticamente activa (PAR $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ per μA)	Cloruros (mg/L)
Conductividad específica ($\mu\text{mhos/cm}$)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
Sólidos disueltos totales (mg/L)	Dureza (CaCO_3 mg/L)
Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	Color (unidades Pt-Co)
Turbidez (unidades nefelométricas)	Potencial de crecimiento algal (mg/L)
	Ficocianinas ($\mu\text{g/L}$)
	Sólidos suspendidos totales (mg/L)
	Coliformes totales ($\text{ufl}/100\text{ml}$)
	Coliformes fecales ($\text{ufl}/100\text{ml}$)

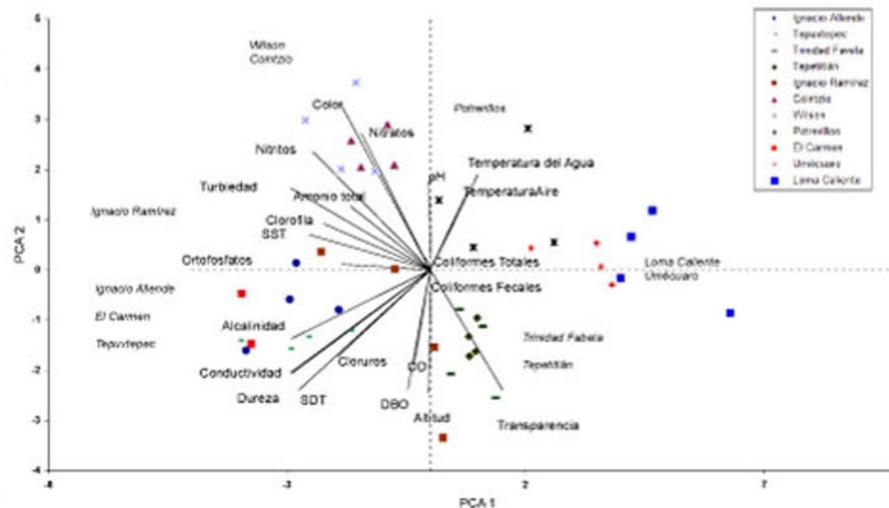
pos de agua más coloridos, Wilson y Cointzio, caracterizados por sus aguas rojas, debido al dominio de hierro en los suelos adyacentes; los más turbios y con altos valores de sólidos suspendidos, Ignacio Ramírez e Ignacio Allende, que se localizan en zonas con alto grado de erosión; así como a los más alcalinos, con aguas más duras y mayor DBO₅, Tepuxtepec y El Carmen. En el mismo diagrama de ordenación es posible identificar a los embalses Umécuaro y Loma Caliente. Estos dos cuerpos de agua son los de menor grado de mineralización, ya que presentan características opuestas al grupo de los eutróficos. Otro grupo de embalses es el formado por Tepetitlán y Trinidad Fabela, que pueden considerarse con mineralización intermedia; la DBO₅ que presentan fue de las más altas, lo que los ubica como los cuerpos de agua con mayor carga de materia orgánica. Por último, el embalse Potrerillos, cuyo grado de mineralización también es intermedio, presentó valores altos de coliformes totales y fecales; en este caso se trata de un embalse rodeado por una zona ganadera, por lo que recibe la influencia directa de esa actividad.

La tipificación de los embalses se complementó con la determinación de los integrantes de las comunidades del fitoplancton. Se observa que los embalses considerados con mayor mineralización y enriquecimiento de nutrientes se caracterizan por la dominancia de cianobacterias (Figura 2). La cuantificación de la ficocianina, pigmento característico de

las cianobacterias, evidencia que los reservorios Tepuxtepec, Tepetitlán e Ignacio Ramírez alcanzan las máximas densidades de cianobacterias, es decir,

sufren proliferaciones masivas de estos organismos (Figura 3). Por el contrario en Loma Caliente y Umécuaro no se detectó este pigmento; allí los cons-

Figura 1 Diagrama del análisis de ordenación por el método de componentes principales. PCA1=Componente principal 1, PCA2=Componente principal 2.



tituyentes del fitoplancton son principalmente especies de clorofilas y diatomeas.

El estudio regional de la cuenca del río Lerma permitió identificar un gradiente de mineralización para los embalses de la cuenca. El 54% de los embalses estudiados mostraron el mayor grado de eutrofización, mismo que es promovido por el aporte de materia orgánica que recibe la cuenca (CNA, 1994; CNA, 2002; SEMARNAT, 2002). Además del enriquecimiento de nutrientes, los embalses con mayor grado de eutrofización se caracterizan por el dominio de cianobacterias; estos organismos pueden alcanzar proliferaciones planctónicas que le confie-

ren al agua olores y sabores desagradables, con la consecuente pérdida de calidad (Downing *et al.*, 2001). Así también, se detectó un alto grado de turbiedad en estos cuerpos de agua cuya transparencia es menor a 20 cm. La turbidez abiótica es un evento que se encuentra en estrecha relación con el proceso de deforestación que sufre la cuenca, que promueve un ingreso de terrígenos a los embalses, en particular aquellos ubicados en las partes bajas de la cuenca. Por el contrario, sólo dos embalses —que están ubicados en las partes altas de la cuenca y en pequeños parches de vegetación natural— manifestaron los menores síntomas de eutrofización. La deforesta-

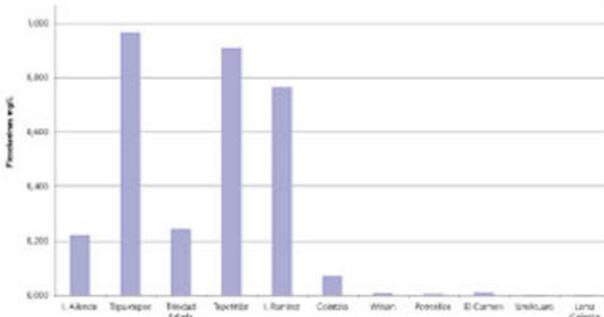
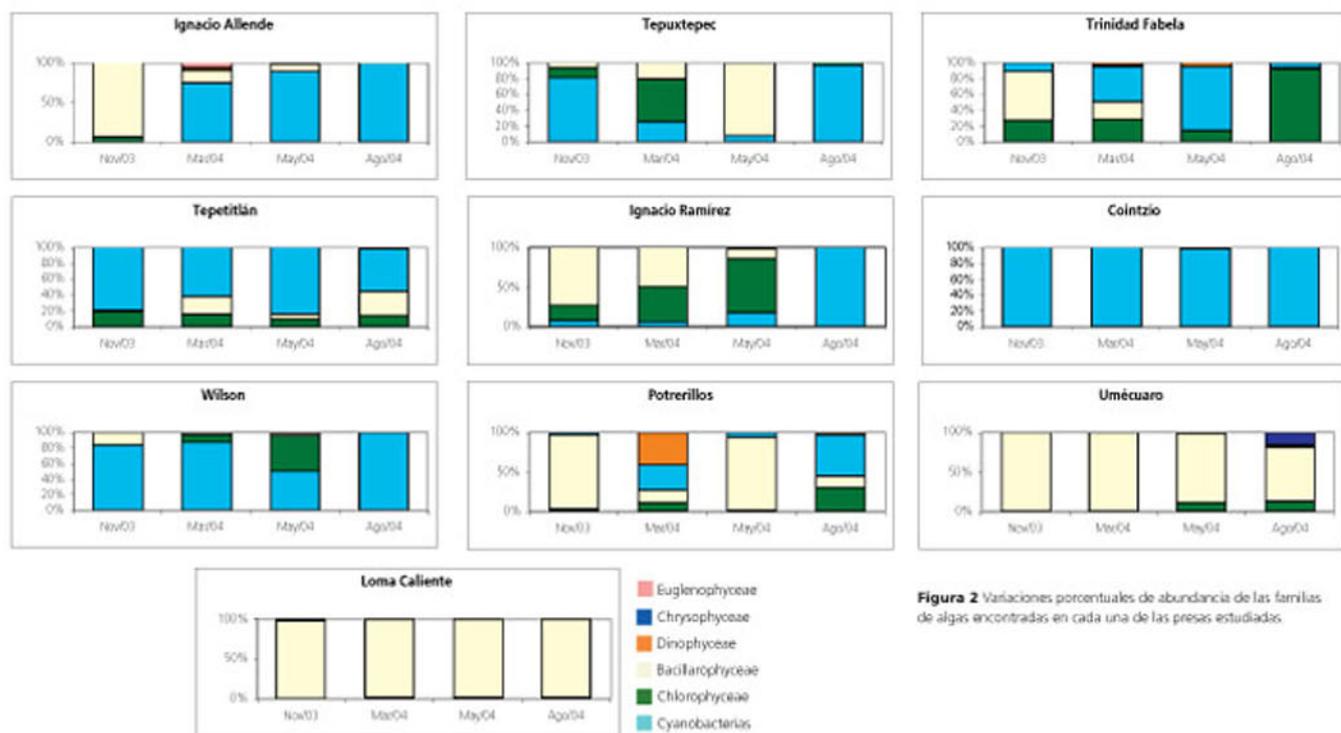


Figura 3 Concentración promedio de ficocianinas en los embalses estudiados.

ción y las descargas puntuales y no puntuales de aguas residuales, además del uso de agroquímicos en las zonas agrícolas, contribuyen a que este proceso se encuentre muy generalizado. Debido a la alta incidencia de eutrofización en los embalses estudiados, es recomendable disminuir el ingreso de nutrientes a estos

cuerpos de agua a través del control de las descargas puntuales en la cuenca de captación, la reforestación, la retención de suelos y el manejo adecuado de los embalses, considerando la descarga selectiva de agua de distintos niveles de profundidad.



FOTO: ALVARO REYES/CA

Figura 2 Variaciones porcentuales de abundancia de las familias de algas encontradas en cada una de las presas estudiadas.

LOS DISTRITOS Y UNIDADES DE RIEGO

Sergio Vargas Velázquez

EO EXISTE UN ACUERDO preciso respecto a la superficie agrícola total con riego de la cuenca, en tanto un área considerable está acondicionada para aprovechar toda el agua, la cual se contrae y expande de acuerdo a la disponibilidad anual. Algunas fuentes estiman susceptibles de riego un poco más de 1.1 millones de hectáreas (INE, 2003), en tanto que otras afirman que cuentan con riego alrededor de 800 mil hectáreas (IMTA, 2002).

La superficie de riego que cuenta con mayor información es la que corresponde a los distritos de riego (DR), que son los sistemas de gran irrigación que el gobierno federal asumió en operación y mantenimien-

to a partir de 1926. Los DR de la cuenca cuentan con alguna obra mayor de almacenamiento y distribución de agua superficial, y generalmente requieren para su operación y mantenimiento de una organización técnica especializada. A partir de 1990, los DR fueron reorganizados en módulos de riego y transferidos a asociaciones de usuarios, con el fin de que los propios usuarios de los sistemas fueran corresponsables en el financiamiento y manejo del agua, además de obtener seguridad jurídica a través de un título de concesión de agua otorgado por el Registro Público de Derechos de Agua. Todavía mantienen un fuerte vínculo con las instituciones del gobierno federal. En la cuenca existen total o parcialmente nueve DR con casi 50

módulos, y abarcan aproximadamente 283 mil hectáreas, regadas fundamentalmente con agua superficial (Mollard *et al.*, 2005)

Por su parte, las unidades de riego (UR), son aquellos sistemas de pequeña irrigación que fueron construidos y operados en la mayoría de los casos por sus propios usuarios, los cuales dependen en mayor medida del agua subterránea. En muchas ocasiones un solo pozo conforma una UR. No se conoce el número preciso de sistemas, por lo que oficialmente se les clasifica en UR controladas y no controladas, dependiendo de la disponibilidad de información. No obstante, se sabe que estos sistemas abarcan aproximadamente 510 mil hectáreas (Silva y Vargas, 2005).



FOTO: AGROFOTÓGRA

PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

ELABORACIÓN DE UN PLAN PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA

Georgina Caire Martínez

COMO YA SE HA MENCIONADO al inicio de esta publicación, en las últimas décadas, la cuenca hidrográfica ha alcanzado un amplio reconocimiento como unidad de planeación para el manejo de los recursos naturales. En México, la Comisión Nacional del Agua (CNA), como autoridad responsable de la gestión de las aguas nacionales, tiene a su cargo la elaboración e instrumentación del *Programa Hidráulico Regional 2002-2006 de la Región VIII Lerma Santiago Pacifico*. Realizado en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática, el programa contiene los objetivos, estrategias, metas y acciones prioritarias que guiarán las operaciones y proyectos de la CNA

en esta región. Este documento representa el conocimiento más especializado y socializado en el tema de gestión del agua e infraestructura hidráulica de la cuenca.

Sin embargo, para poder avanzar hacia un modelo de gestión de recursos naturales por cuenca, hace falta incorporar a este esfuerzo de planeación los elementos indispensables interrelacionados en el ciclo hidrológico, como son los suelos y la vegetación. Para lograrlo, sería recomendable contar con un plan de acción que sirviera como guía para alcanzar el escenario deseable en términos ambientales, considerando el impacto que el uso y aprovechamiento de los recursos naturales tiene sobre el recurso agua en términos de cantidad, disponibilidad y calidad.

La extensa superficie comprendida por esta cuenca y la importancia de obtener la cooperación de un sinnúmero de actores públicos y privados, son condiciones que determinan un escenario altamente complejo, imposible de ser planeado y manejado por una sola entidad gubernamental. Por esta razón es preciso promover la cooperación de cada uno de los actores involucrados (productores agropecuarios, habitantes de zonas urbanas, instituciones y organizaciones sociales y autoridades de gobierno locales y federales) para que desde sus respectivos ámbitos de acción, contribuyan en la recuperación de la cuenca, advirtiendo la relación directa entre el manejo de los recursos y su calidad y disponibilidad en el largo plazo.

Inicialmente, se recomendaría avanzar incrementalmente desde un esfuerzo complementario a la gestión del agua, capaz de recuperar el rol de cada recurso en el ciclo hidrológico (acciones orientadas a la preservación y protección del recurso), hasta alcanzar un esquema de manejo integral que pudiera asegurar la sustentabilidad de la cuenca.

Un plan de acción para la recuperación ambiental de esta superficie tendría específicamente el propósito de establecer prioridades en términos de funcionalidad ambiental y de encauzar acciones y recursos hacia un mismo objetivo (direccionalidad), procurando lograr resultados más eficaces en el corto, mediano y largo plazo.



A nivel federal, un instrumento como el que aquí se propone, podría facilitar la coordinación interinstitucional entre las agencias involucradas en el manejo de los recursos y simplificar el proceso de toma de decisiones sobre aquellas acciones preponderantes, desde el punto de vista técnico, atendiendo el ciclo hidrológico y la funcionalidad ambiental de la cuenca.

A nivel local, un plan de acción en el cual se especifiquen las principales áreas críticas, facilitaría a las autoridades gubernamentales la búsqueda, identificación e instrumentación de las soluciones más apropiadas (acciones y proyectos) para obtener un mejor aprovechamiento de los recursos naturales o para controlar o revertir los procesos de degradación en dichas áreas.

Asimismo, para asegurar la continuidad de su función de rectora y



orientadora, este esfuerzo de planeación deberá incluir la enumeración ordenada de acciones a realizar en el largo plazo, de tal manera que sea posible establecer una planeación multianual (temporal y espacial) que facilite su inclusión a través de las instancias de planeación¹ y sistemas de programación



presupuestal (anual), propias de cada nivel de gobierno. Este ejercicio, a su debido tiempo, redundará en mejores escenarios para impulsar acciones coordinadas entre los gobiernos y sus dependencias sectoriales.

Es importante mencionar que, para resolver los problemas ambientales se debe buscar soluciones integrales (no sólo correctivas), capaces de eliminar o modificar según sea el caso, las prácticas que originan el impacto ambiental. Para ello, es necesario que sean atendidos a partir de un planteamiento sistémico, procurando la reversión de los procesos de degradación de manera gradual pero consistente, en donde los resultados obtenidos puedan ser evaluados en el tiempo y en el espacio.

A continuación se expone gráficamente una propuesta sobre las principales fases que deben considerarse en el proceso de elaboración de un plan, cuyo propósito sea la recuperación y sustentabilidad de la cuenca Lerma-Chapala. Advirtiendo que el proceso de planeación de un territorio es un proceso dinámico, en el que el orden de las etapas y del contenido

pueden variar ampliamente, ofrecemos aquí una propuesta simplificada para servir como guía general; su adaptación dependerá de las necesidades y oportunidades a lo largo del proceso mismo.

Partiendo del Acuerdo para la Recuperación y Sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala, en el que se expresa la voluntad de los gobiernos federal y estatales para cooperar en esta empresa, sería recomendable que, en primera instancia, se trabajara en la recopilación, integración y creación de consensos sobre la información que servirá de base para el diagnóstico ambiental de la cuenca.

En un segundo momento, es recomendable, identificar las áreas críticas² en la región, para después establecer la estrategia de acción apropiada mediante la aplicación de criterios ambientales, sociales y productivos. Esta etapa será de gran utilidad para reconocer e identificar a los actores involucrados y los posibles espacios de coordinación desde sus ámbitos propios de operación. Asimismo, en esta fase es importante incluir los mecanismos de evaluación más adecuados a los proyectos realizados, tanto en lo particular como en el contexto general de la cuenca.

Finalmente, es importante destacar y advertir que, a partir del escenario que se desprende del actual contexto institucional, la aplicación de este plan depende fundamentalmente de la disposición de los actores para mantener las relaciones de cooperación entre sí. En este sentido, la *estrategia de implementación* adquiere gran relevancia y debe ser diseñada paralelamente. Los mecanismos formales o instrumentos³ de coordinación deberán ofrecer los incentivos suficientes para que

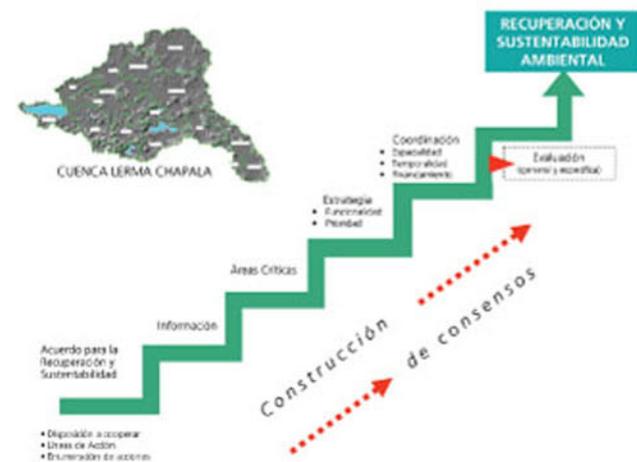
estados y municipios reconozcan en el plan un instrumento de referencia e incluyan sus proyectos en los programas de gobierno correspondientes.

En ausencia de la motivación suficiente, los actores podrían no asumir su parte en el proceso e incluso actuar de manera contraria a los objetivos del plan. Para reducir el riesgo de que los objetivos derivados de estos esfuerzos de planeación, sólo queden plasmados en el papel, es necesario insistir en contemplar desde el inicio la factibilidad legal, técnica, política y financiera de las diferentes alternativas de solución, como elementos indispensables para lograr una implementación exitosa del plan.

¹ Por ejemplo, los Comités de Planeación para el Desarrollo del Estado (COPLADE), los Comités de Planeación para el Desarrollo Municipal (COPLADEMUN), los Consejos de Desarrollo Municipal y los Consejos de Desarrollo Rural Sustentable. Todos ellos constituyen instancias formales de planeación y participación social; sin embargo, los dos primeros son, institucionalmente, los organismos de planeación responsables de lograr la coordinación entre la federación, los estados y los municipios en materia de desarrollo.

² Las áreas críticas se definen como aquellas superficies de la cuenca cuyas condiciones de degradación ponen en riesgo la funcionalidad ambiental de la cuenca, a causa de procesos de contaminación de agua, captación o infiltración, incremento de escurrimientos, erosión, etcétera.

³ Los instrumentos de coordinación pueden ser los convenios de desarrollo social (entre la federación y los gobiernos estatales), subsidios especiales o condicionados, financiamiento compartido de proyectos específicos, creación de fondos regionales, etcétera.





RECOMENDACIONES TÉCNICAS DEL INE POR SUBCUENCA*

Esthela Irene Sotelo Núñez

LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SUBSISTEMAS económicos, los patrones demográficos y las dinámicas socioculturales que se conjugan en la cuenca Lerma-Chapala, han estructurado y organizado el territorio de una forma determinada, dando como resultado mecanismos diferenciados de apropiación de los recursos naturales en cada una de las diecinueve subcuencas que integran esta cuenca.

La delimitación de las diecinueve subcuencas que conforman la cuenca Lerma-Chapala obedece en primer lugar a criterios de tipo hidrográfico, tales como hidrología superficial y topografía. Esto significa que cada subcuenca corresponde a un territorio con una red hidrográfica independiente, hasta que se conecta con otra red distinta, perteneciente a otra subcuenca. En segundo lugar, dicha delimitación toma en cuenta también criterios de disponibilidad y distribución geográfica de datos hidrométricos. En tercer lugar, además de los criterios puramente hidrográficos, se cierran algunas subcuencas a partir de la presencia de un embalse artificial, pues la presencia de este tipo de embalses permite tomar a cada subcuenca como una unidad independiente.

En la página siguiente se puede observar el tamaño de las subcuencas y el porcentaje que cada una de ellas representa con respecto a la superficie de la cuenca y de los estados que las integran (ver mapa).

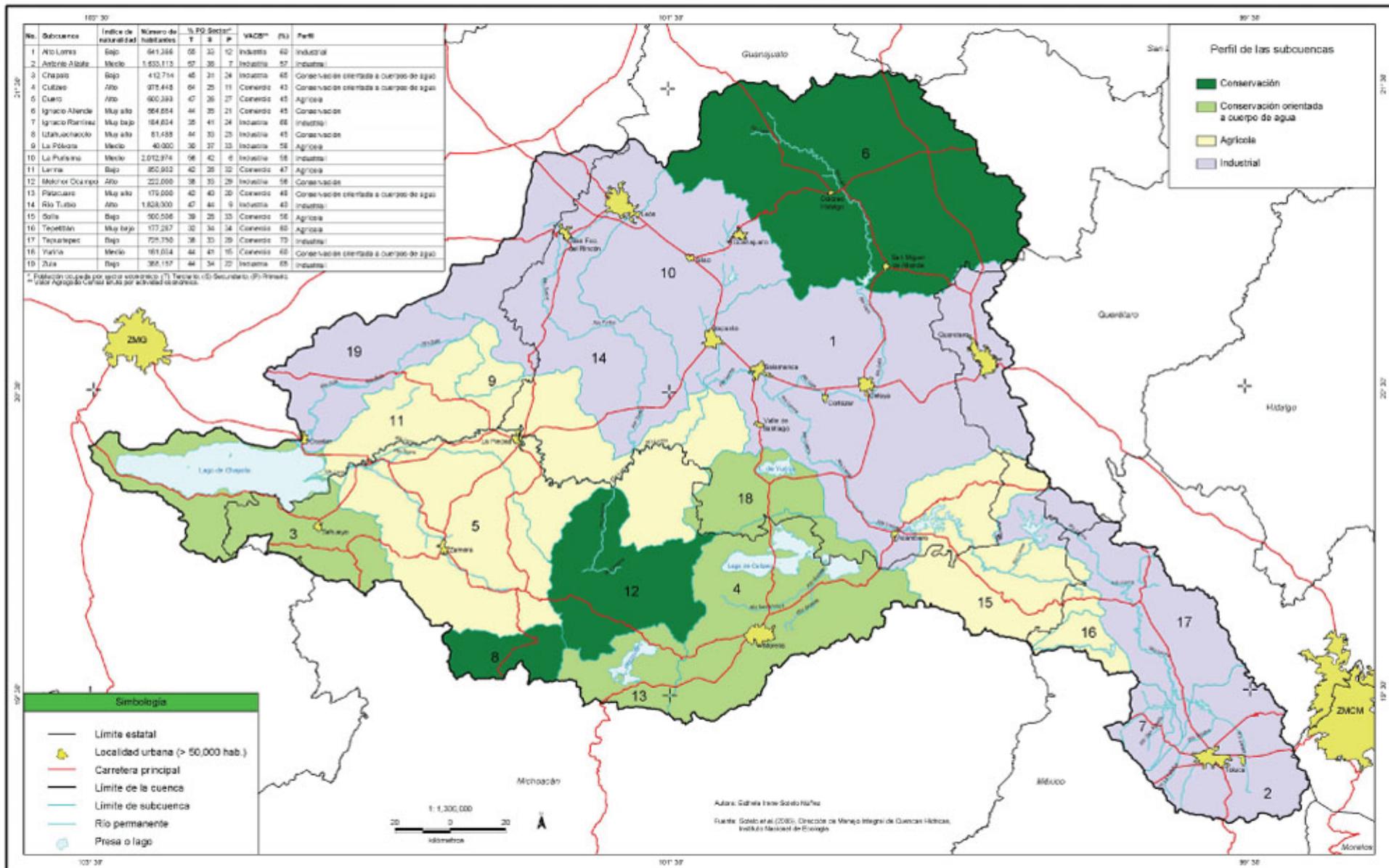
La pérdida de cobertura vegetal, la reducción y contaminación de diversos cuerpos de agua y la pérdida de suelos por distintos procesos de degradación, son algunos de los principales problemas que afectan la integralidad de la cuenca y que por su complejidad sólo pueden ser analizados desde una perspectiva sistémica, sin buscar su jenzarquización (Cotler *et al.*, 2004). No obstante, dichos problemas van adquiriendo matices distintos, según las dinámicas socioambientales de cada subcuenca.

En la porción norte de la cuenca se ubica la subcuenca Ignacio Allende, que contiene el área con mayor cubierta vegetal natural y biodiversidad de todo Lerma-Chapala, lo cual aunado a su ubicación

*Recomendaciones técnicas elaboradas por el Instituto Nacional de Ecología a partir del estudio de Zonas Prioritarias Estratégicas para la recuperación de la cuenca Lerma-Chapala, realizado por la Dirección de Manejo Integral de Cuenecas Hídricas del Instituto Nacional de Ecología (Sotelo *et al.*, 2006).



DINÁMICA SOCIOAMBIENTAL DE LAS SUBCUENCAS



y extensión, nos permite afirmar que esta zona presenta condiciones que favorecen la captación de agua. Estas características se conjugan con una densidad de población baja y una economía local basada en actividades del sector primario, por lo que para asegurar que esta subcuenca cumpla debidamente su función captadora de agua, resulta muy conveniente llevar a cabo acciones encaminadas a la conservación y restauración de la cobertura vegetal, la rehabilitación de suelos y la promoción de técnicas agropecuarias de menor impacto ambiental, sin descuidar aquellas que tienen que ver con un manejo integral del agua.

En la parte media de la cuenca, observamos una dinámica predominantemente industrial, formando un corredor que va del sureste al noroeste, a lo largo de los ríos Lerma, Turbio y Zula, en las subcuencas Antonio Alzate, Ignacio Ramírez, Tepuxtepec, Alto Lerma, La Pólvora, La Purísima, Río Turbio y Zula. Este tipo de subcuencas suelen caracterizarse por poseer valores de naturalidad que van de muy bajos a medios (Sotelo *et al.*, 2006). Otro rasgo distintivo es la presencia de grandes centros urbanos con densidades de población altas y una gran concentración de la población ocupada en los sectores secundario y terciario. En estas subcuencas, destaca el problema de sobreexplotación y contaminación del agua utilizada en los distintos procesos productivos de las industrias, por lo que es muy importante desarrollar acciones que promuevan un uso más eficiente del recurso, así como el saneamiento de las aguas residuales e industriales, que drenan a las subcuencas contiguas y son utilizadas en su mayoría para riego agrícola.

El agua utilizada en los procesos industriales fluye hacia el sur de la cuenca, hacia las planicies aluviales de las subcuencas Solís (ubicada al sureste), La Pólvora, Lerma y Duero (al suroeste). En estas subcuencas se registra un mayor porcentaje de población viviendo en comunidades rurales, que basan su economía en actividades predominantemente agrícolas y que mantienen una relación muy estrecha con los recursos naturales. En ellas resulta fundamental llevar a cabo acciones de rehabilitación de suelos así como estrategias para mejorar las técnicas agrícolas,

con el fin de incrementar sus rendimientos y frenar la degradación de suelos, pues al problema de contaminación del agua por descargas urbano industriales generado cuenca arriba, se suma ahora la contaminación por agroquímicos y un aumento en el arrastre de sedimentos ocasionado por la pérdida de suelos, que incrementan los procesos de eutrofización y azolve de importantes embalses naturales ubicados en la zona de emisión.

Finalmente, en las zonas de emisión de la cuenca se ubican subcuencas como Chapala, Pátzcuaro, Cuitzeo y Yuriria, que a pesar de mantener una dinámica socioeconómica muy activa —ya sea por la presencia de determinados tipos de industria, una fuerte actividad turística o por la práctica intensiva de actividades agropecuarias— destacan por la importancia y la necesidad de realizar acciones de conservación y rehabilitación en los cuerpos de agua que se encuentran contenidos en las mismas y que son depositarios de los drásticos impactos acumulativos de todos los procesos que se suscitan en las partes alta y media de la cuenca.

Una situación similar se registra en las subcuencas Melchor Ocampo e Iztahuachacolo las que, a pesar de no poseer embalses naturales del tamaño de las anteriores, conservan un valor natural que va de alto a muy alto, por lo que se recomienda impulsar sobre todo medidas de conservación y rehabilitación de los ecosistemas terrestres, así como de manejo de suelos para frenar su degradación.

Según la información recién descrita, podemos agrupar a las 19 subcuencas en cuatro grandes conjuntos: subcuencas con un perfil más apto para implementar acciones de conservación, subcuencas de tipo industrial, subcuencas predominantemente agrícolas y subcuencas orientadas a la conservación y restauración de cuerpos de agua.

Dado que la complejidad que caracteriza a la cuenca Lerma-Chapala supera el alcance de cualquier acción aislada e impide la generalización en el diseño de alternativas de solución, consideramos que las subcuencas representan la unidad óptima de gestión y planeación, anteponiendo como prerrequisito la necesidad de la acción coordinada tanto de la federación como de los municipios que integran

SUBCUENCA	SUPERFICIE km ²	% DE LA CUENCA	CABECERA		CAPTACIÓN Y TRANSPORTE		EMISIÓN	
			km ²	%	km ³	%	km ³	%
Alto Lerma	7,509.1725	14.01	1,255.11	16.72	6,252.47	83.27	1.30	0.02
Antonio Alzate	2,063.0600	3.85	577.15	27.97	1,486.13	72.03	0.00	0.00
Chapala	3,312.6350	6.18	605.72	18.28	706.40	21.32	2,000.63	60.39
Cuitzeo	3,814.1500	7.12	909.03	23.83	1,714.98	44.97	1,189.90	31.20
Duero	3,553.6025	6.63	1,014.62	28.55	1,892.91	53.27	645.70	18.17
Ignacio Allende	6,914.2950	12.90	1,962.44	28.38	4,951.76	71.62	0.00	0.00
Ignacio Ramírez	900.5600	0.93	181.24	36.22	319.17	63.78	0.00	0.00
Iztahuachacolo	684.1500	1.27	422.64	61.79		0.00	261.40	38.21
La Purísima	2,999.0700	5.60	562.86	18.77	2,436.42	81.23	0.02	0.00
La Pólvora	307.0400	0.57	63.00	20.52	244.00	79.48	0.00	0.00
Lerma	5,057.7200	9.44	993.47	19.64	2.14	0.04	4,062.80	80.32
Melchor Ocampo	2,205.2650	4.11	618.73	28.06	1,505.22	68.26	81.30	3.69
Pátzcuaro	935.7775	1.75	405.04	43.29	0.4	0.04	530.20	56.67
Río Turbio	4,802.9350	8.96	941.11	19.59	3,861.74	80.41	0.00	0.00
Solís	3,002.5425	5.60	51.3	25.02	2,251.46	74.98	0.00	0.00
Tepetitlán	368.7475	0.69	161.38	43.73	207.63	56.27	0.00	0.00
Tepuxtepec	2,643.1250	4.93	557.24	21.08	2,085.59	78.92	0.00	0.00
Yuriria	1,080.9900	2.02	365.12	33.78	715.74	66.22	0.00	0.00
Zula	1,836.3925	3.43	428.63	23.35	1,394.13	75.93	13.30	0.72
TOTAL DE LA CUENCA	53,591.2300	100%	12,775.83	23.84%	320,228.29	59.76%	8,786.55	16.40%

Subcuencas de la cuenca Lerma-Chapala.

cada subcuenca, de los gobiernos estatales involucrados y de los distintos sectores productivos que en ellas se desarrollan.

Con el afán de brindar alguna orientación para la planeación de las acciones que se emprendan en la cuenca, hemos diseñado un conjunto de recomendaciones técnicas para cada una de las subcuencas, según el análisis de las condiciones actuales de los recursos suelo, vegetación y agua. Dichas recomendaciones se sintetizan en el siguiente cuadro, compuesto por cinco columnas y que se desarrolla en las siguientes páginas. En la primera columna se emun-

cionan los tipos de actividad socioeconómica predominantes, en orden de importancia. En la segunda columna se presentan los principales problemas socio-ambientales relacionados con dichas actividades. La tercera columna señala las zonas identificadas con el mayor grado de afectación, seguidas de las recomendaciones específicas para cada problema y zona identificada. En una última columna se ofrece un conjunto de programas federales que incluyen, dentro de su catálogo de opciones, algunas acciones viables que facilitan la implementación de las recomendaciones hechas.

ALTO LERMA

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD INDUSTRIAL	Contaminación de agua por descargas industriales sin tratamiento y residuos de hidrocarburos	Río Lerma en el tramo de Salvatierra a Salamanca, con residuos de industria química e hidrocarburos. Planicies aluviales del río Querétaro al noreste de la subcuenca, que reciben descargas industriales sin tratamiento	Se recomienda vigilar que las industrias cuenten con sus propias plantas de tratamiento de aguas, así como reforzar los mecanismos de cumplimiento de la regulación sobre este tipo de descargas a cuerpos receptores de propiedad nacional	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación Industria Limpia
DINÁMICA URBANA	Movimientos de protesta social para demandar un mejor servicio de agua potable	Los movimientos de protesta se suscitaron en las ciudades de Salamanca y Celaya	Es necesario el fortalecimiento de los organismos operadores municipales para eficientar el servicio de abastecimiento de agua potable	PROCEP, Programa de Modernización de Organismos Operadores
	Contaminación de cuerpos de agua por descargas urbanas sin tratamiento	Río Lerma a su paso por Acámbaro, Salvatierra y Salamanca, río Querétaro al norte de la ciudad del mismo nombre, río Laja a su paso por Celaya, Apaseo el Grande y Apaseo el Alto	Aumentar la infraestructura de saneamiento y ampliar la red de colectores en los grandes centros urbanos como Salamanca y Querétaro. Desarrollar acciones de saneamiento en municipios sin infraestructura como Celaya, Apaseo el Alto y Apaseo el Grande	PAZU, PROSAPU, PTH-Manejo de desechos comunitarios líquidos y sólidos
ACTIVIDAD AGROPECUARIA	Declinación de la fertilidad en suelos y posible contaminación agroquímica de suelos y acuíferos	Tierras agrícolas de riego ubicadas en las partes planas de la subcuenca	Aumentar el uso de abono orgánico y promover labranza mínima	PROGRAMO ecológico, PROO Microcuencas, PTH-Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Degradación del suelo por erosión hídrica superficial y pérdida de la capa arable del suelo. Azolve de cuerpos de agua, canales de irrigación y cauces fluviales	677 km ² en zonas de lomeríos y piedemonte con agricultura de temporal y pastizal inducido	Se recomienda evitar el avance de la agricultura de temporal hacia zonas de lomeríos y piedemonte, así como la promoción de la cubierta vegetal con especies herbáceas nativas adaptadas a las condiciones del suelo	PROGRAMO ecológico, PROO Microcuencas, PSA-CASA, PTH-Cercos vivos, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Deforestación y cambio de uso de suelo	Colinas ubicadas al noreste de la subcuenca, en zonas de matorral subtropical y matorral crasicaule. Partes altas de lomeríos y montañas ubicadas en los municipios de Irapuato y Salamanca	Detener el avance de la frontera agrícola y tierras de pastoreo sobre todo hacia zonas con pendiente pronunciada. Se sugiere además implementar medidas de restauración reintroduciendo especies nativas de cada ecosistema	PROGRAMO ecológico, PROO Microcuencas, PTH-Conservación de flora y fauna, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Degradación del suelo debida a la erosión por cárcavas	Fragmentos de vegetación natural ubicados al norte y suroeste de la subcuenca	Implementar prácticas de restauración y conservación de suelos al norte y suroeste de la subcuenca, a fin de promover un mayor almacenamiento y acumulación de agua en zonas de cabecera	PROCEP, PSA-Reconversión/mejora de sistemas agroforestales, PSA-Derivados de la Biodiversidad, PSA-Hidrológicos
	Alteración de ecosistemas acuáticos y ribereños y modificación del patrón hidrológico natural por sobreexplotación de presas	Actualmente existen registradas 19 presas y 6 bordos destinados al riego agrícola, distribuidas a lo largo de toda la planicie aluvial de la subcuenca	Crear franjas riparias de amortiguamiento con vegetación nativa (árboles, arbustos y pastos) para reducir la velocidad del agua, contener sedimentos y contaminantes, promover la absorción de nutrientes y controlar la temperatura del agua	PROCEP, PSA-Reconversión/mejora de sistemas agroforestales, PSA-Derivados de la Biodiversidad, PSA-Hidrológicos

ANTONIO ALZATE

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD INDUSTRIAL	Alto consumo de agua	Toda la subcuenca, con énfasis en el corredor Toluca-Lerma.	Implementar técnicas y opciones de reuso de aguas tratadas en la industria. Regular el consumo industrial de agua y frenar la sobreexplotación de acuíferos a través de vedas, reservas y/o reglamentos.	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación Industria Limpia
	Contaminación del agua por residuos industriales	Río Lerma a su paso por la zona industrial de Toluca	Aumentar la capacidad de tratamiento de descargas en parques industriales. Reforzar mecanismos de cumplimiento de la regulación sobre descargas industriales. Obligar a que los nuevos desarrollos y parques industriales posean infraestructura de saneamiento suficiente en sus instalaciones.	
DINÁMICA URBANA	Contaminación del agua por descargas urbanas	Ríos Lerma y Verdiguél, presa Antonio Alzate y laguna de Almoloya	Se sugiere mantener en buen estado la infraestructura de saneamiento de la ciudad de Toluca y ampliar la capacidad instalada en la planta Toluca Norte. Se recomienda también crear sistemas de saneamiento en Metepec, Lerma, Zinacantepec y San Mateo Atenco y vigilar la calidad del agua vertida en la laguna de Almoloya, para mantener las condiciones de vida acuática y especies asociadas.	ANAB, PROSARV, PET-Manejo de desechos comunitarios líquidos y sólidos
ACTIVIDAD AGROPECUARIA	Declinación de la fertilidad en suelos	49% de la superficie de la subcuenca, en zonas de agricultura de riego y temporal.	Se recomienda el mejoramiento de prácticas agrícolas mediante programas de capacitación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como disminuir al uso intensivo de agroquímicos y fomentar la labranza mínima.	PROCAMPO Ecológico, PROCO Microcuencas, PET, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Degradación del suelo debida a la erosión por cárcavas	Terrenos de agricultura de temporal ubicados al suroeste de la subcuenca, en las laderas del Cerro de San Antonio	Se sugiere desarrollar acciones de conservación y vigilancia por parte del municipio de Zinacantepec, en coordinación con el municipio de Almoloya de Juárez. Se recomienda también frenar el avance de la frontera agrícola.	PROCOPE, PSA-Derivados de la biodiversidad, PSA-Hidrologicos, PET-Conservación de flora y fauna, PROCO Microcuencas
		Remanentes de bosque de pino y pino encino distribuidos en las laderas del Nevado de Toluca, en zonas de cabecera	Considerar actividades de conservación en la ANP Parque Nacional Nevado de Toluca y coordinarse con la CONANP para detener o revertir este proceso de degradación.	PROCOPE, PROCOPE, PSA-Hidrologicos, PSA-Derivados de la biodiversidad, PSA-Captura de carbono, PET
	Cambio de uso de suelo y deforestación de bosques	66 km ² de bosque de oyamel y bosque de pino, dispersos a lo largo de la subcuenca	Se sugiere detener la expansión de la agricultura de temporal y zonas de pastizal inducido. Controlar la tala ilegal y crear redes de control y monitoreo de incendios.	PROCAMPO ecológico, PROCO Microcuencas, PSA-CAESA, PET-Conservación de flora y fauna, PET-Cercos vivos, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo), PSA-Hidrologico, PSA-Biodiversidad, PROCOPE, Programa estatal de monitoreo de incendios (PROPEI)

CUITZEO

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Deforestación de bosques y azolvamiento de cuerpos de agua	Partes altas de la cuenca y lago de Cuitzeo	Se recomienda reforestar las partes altas de la cuenca, reintroduciendo especies nativas de cada ecosistema natural para mejorar el funcionamiento integral de la subcuenca. Se recomienda también frenar el avance de la agricultura de temporal hacia estas zonas	PROCOPEL, PSA-Hidrologicos, biodiversidad y captura de carbono, RET, FICCO Microcuencas
	Declinación de la fertilidad en suelos y eutroficación del lago de Cuitzeo	Lago de Cuitzeo y zonas de agricultura de riego distribuidas al norte y sur del mismo	Se recomienda fomentar la labranza mínima, así como la incorporación de abono orgánico, para proveer al suelo los nutrientes necesarios	PROCAMPO ecológico, FICCO Microcuencas, RET, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Salinización del lago de Cuitzeo	Porción occidental del lago	Disminuir el uso intensivo de agroquímicos sobre todo en las zonas de agricultura de riego ubicadas cuenca arriba, debido a que éstos podrían aumentar la concentración de sales acumuladas en esta zona de emisión	
	Fragmentación de la cubierta vegetal natural	Norte y noreste de la subcuenca	Se sugieren como zonas de restauración los manchones de bosque de encino y matorral subtropical ubicados al norte del lago, y las zonas de encino distribuidas en las montañas, al oeste del municipio de Morelia	PROCOPEL, PROCIWAL, PSA-Hidrologico, biodiversidad y captura de carbono, PROSERJAL, RET-Manejo forestal
	Amenaza de ecosistemas terrestres sin degradación aparente	Centro y sureste de la subcuenca	Se sugiere conservar los manchones de bosque de encino pino, ubicados en zonas de cabecera, al sureste de la subcuenca. También se recomienda conservar zonas montañosas con bosque de encino al centro y sureste	
ACTIVIDAD URBANO INDUSTRIAL	Contaminación del río Grande y del lago de Cuitzeo ocasionada por descargas urbanas y desechos industriales vertidos en la red de colectores municipales	Partes bajas de la cuenca	Se recomienda reforzar los mecanismos de cumplimiento de la regulación industrial y agilizar la construcción de la planta de tratamiento de la ciudad de Morelia, además de monitorear el tipo de descargas que se vierten a la red de colectores	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación Industria Limpia

DUERO

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Declinación de la fertilidad en suelos	Llanuras con poca pendiente dedicadas a agricultura de riego y temporal, así como pastizales inducidos	Se sugiere impulsar programas de capacitación para mejorar las técnicas agrícolas, complementándolos con programas integrales de política social. Se recomienda desarrollar mecanismos de diversificación de cultivos y fuentes de empleo alternativas al campo, en municipios con fuerte dependencia del sector primario y cultivos con rendimientos muy bajos, tales como Papacuarán, Purépero, Chilchota, Tangamandapio y Tlazazalca. En suelos que presentan erosión hídrica, promover acciones de restauración de la cubierta vegetal con especies herbáceas nativas adaptadas a las condiciones del suelo	RET, PICO Microcuencas, PROCAMPO ecológico, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo), INIFOP
	Degradación del suelo por erosión hídrica superficial	Zonas de lomeríos y colinas con agricultura de temporal a lo largo de toda la subcuenca	Frenar el avance de la frontera agrícola hacia esta zonas. Se recomienda además implementar prácticas de conservación en los remanentes de bosque de pino y pino encino al sur de la subcuenca, en los municipios de Tangandacuaro, Los Reyes, Charapan, Chilchota y Charán	
	Deterioro de ecosistemas terrestres degradados (secundarizados y fragmentados)	Remanentes boscosos y zonas de matorral subtropical distribuidos a lo largo de la subcuenca, predominando en las porciones centro y sur	Se sugiere conservar los remanentes de bosque de pino y pino encino al sur de la subcuenca. Se recomienda conservar y restaurar los remanentes de bosques de pino encino al sureste, en los municipios de Chilchota, Cherán, Zacapu y Purépero. Al este, conservación y restauración del bosque de encino, en los municipios de Chuntitlán, Tlazazalca y Zamora. Al norte, la conservación y restauración de matorral subtropical en los municipios Tanhuato, Ecuandureo y Zamora	PROCAMPO ecológico, PICO Microcuencas, RET-Cercos vivos, RET-Flora y fauna, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, PSA-Biodiversidad, PSA-Hidrológicos, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)

IGNACIO RAMÍREZ

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD INDUSTRIAL	Contaminación de agua por descargas de la pequeña industria	Presa Ignacio Ramírez	Se recomienda vigilar la actividad de la pequeña industria, ubicada en los municipios de Almoloya de Juárez y Villa Victoria, para evitar que sus descargas arrojen contaminantes a la presa	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación industria limpia
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Degradación del suelo debida a la erosión por cárcavas	26% de la superficie de la subcuenca, la mitad de la superficie afectada se ubica en zonas de cabecera	Se recomienda mejorar las prácticas agrícolas incorporando medidas de conservación de suelos. Esta recomendación es importante sobre todo en la zona de las faldas del cerro de San Antonio, al oeste de la subcuenca, por contar con suelos volcánicos susceptibles a este tipo de erosión	PROCAMPO ecológico, PROCO Microcuencas, PFI, PSL-Recuperación de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Deterioro de los ecosistemas naturales	A lo largo de toda la subcuenca, especialmente en zonas de cabecera ubicadas al sur	Dado el bajo índice de naturalidad de esta subcuenca, es necesario conservar los relictos de bosque de oyamel ubicados al sur (un área aproximada de 17 km ² localizados en el cerro de San Antonio	PROCOED, PSL-Derivados de la biodiversidad, PSL-Captura de carbono, PSL-Hidrología, PFI, PROCO Microcuencas

IZTAHUACHACOLO

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
INDUSTRIA MADERERA	Deterioro de ecosistemas terrestres degradados (secundarizados y fragmentados)	Remanentes boscosos situados a lo largo de toda la subcuenca	Dado su alto índice de naturalidad, en esta subcuenca se recomienda fomentar la continuidad del bosque, así como el diseño de planes de manejo forestal que incluyan acciones de conservación de las zonas boscosas ubicadas al norte y sur de la subcuenca, en zonas de cabecera. Del mismo modo, es pertinente implementar acciones de restauración en las zonas de bosque secundario	PROCYMAS, PRODEFAP, PROCORE, PSA-Derivados de la biodiversidad, PSA-Captura de carbono, PSA-Hidrológicos, RE, FRCO Microcuencas
	Tala ilegal		Implementar redes de vigilancia y monitoreo de incendios	
		Fortalecer mecanismos de coordinación entre los municipios, la PROFRA y el gobierno del estado de Michoacán		
ACTIVIDAD AGROPECUARIA	Deforestación	Porción norte de la subcuenca	Se recomienda implementar acciones de restauración en los remanentes boscosos de pino. Se sugiere también evitar el avance de la agricultura de temporal hacia esta zona	PROCORE, PROCAMPO ecológico, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo) RAISE, Programa de bordería (CONAZA)
	Degradación del suelo por erosión eólica	A lo largo de toda la subcuenca, predominando en zonas de lomeríos y colinas con agricultura de temporal y bosque de pino		
	Amenaza y deterioro de ecosistemas terrestres sin degradación aparente	Especialmente en los municipios de Charán y Nahuatzen		

TEPETITLÁN

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Degradación del suelo por erosión hídrica superficial y declinación de la fertilidad	La erosión por cárcavas afecta al 35% de la subcuenca, concentrándose en zonas de agricultura de temporal y pastizales inducidos. La declinación de la fertilidad afecta principalmente el noroeste de la subcuenca (aproximadamente un 24% de la subcuenca)	Como medida para detener estos procesos, es necesario promover la mejora de las prácticas agrícolas, así como implementar medidas de manejo de suelos. Dada la vulnerabilidad socioeconómica de esta subcuenca, se sugiere complementar estas medidas con programas de política social que promuevan la diversificación de fuentes de empleo y el desarrollo comunitario	PROCESO ecológico, INCO Microcuencas, PET, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Deterioro de ecosistemas terrestres degradados (secundarizados y fragmentados)	Porción norte de la subcuenca	Se recomienda conservar y restaurar los remanentes de bosque de pino y pino encino en esta parte de la cuenca, pues se ubican en la zona funcional de cabecera. Del mismo modo, es pertinente frenar el avance de la frontera agrícola hacia estas zonas, pues su conservación podría aminorar el aporte de sedimentos a la presa Tepetitlán	PROCESO, PSA-Hidrológicos, PSA-Derivados de la biodiversidad, PSA-Captura de carbono
	Amenaza y deterioro de ecosistemas naturales (sin degradación aparente)	Porción oeste de la subcuenca	Es necesario implementar medidas de conservación en los manchones de bosque de oyamel ubicados en esta zona de la subcuenca, debido a su coíndancia con el AMP Mariposa Monarca	PROCESO-PET, Flora y fauna, PET Cercos vivos

LA PÓLVORA

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Detenoreo de ecosistemas terrestres degradados (secundarizados)	Manchones de matorral subtropical y bosque de pino enono ubicados al este y sur de la subcuenca	Se sugiere implementar labores de restauración que contemplen la reintroducción de especies nativas de cada ecosistema para mejorar su calidad y funcionamiento, así como controlar la erosión hídrica en estos suelos	PROCOPEL, PSA-Hidrológicos, PSA-Derivados de la biodiversidad
	Deducción de la fertilidad en suelos	Este proceso afecta al 56% de la subcuenca, concentrándose en suelos agrícolas de riego y temporal	Se sugiere desarrollar sistemas de producción alternativos a los altamente mecanizados, a fin de evitar la compactación de los suelos en laderas, colinas y llanuras	
	Degradación del suelo por erosión hídrica superficial	Zonas de matorral subtropical, agricultura de temporal y pastizal inducido ubicadas al sur del municipio de Jesús María	Se recomienda mejorar las técnicas agrícolas y restaurar la vegetación natural para aminorar los efectos de este tipo de degradación, tales como el aporte de sedimentos a la presa La Pólvora. Se sugiere conservar los remanentes de bosque de enono en las localidades de La Montaña y Los Patos, al norte de la subcuenca; así como los de la localidad de Paso de Tarimoro, en la porción central	PROGRAMO ecológico, PROO Microcuencas, PTE, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)

LERMA

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Deducción de la fertilidad en suelos	Este proceso afecta al 40% de la superficie de la subcuenca, concentrándose en zonas planas de llanuras, en las que se practica agricultura de riego	Se recomienda fomentar la labranza mínima, así como la incorporación de abono orgánico, para proveer al suelo los nutrientes necesarios. Se recomienda además el desarrollo de sistemas de riego tecnificado, para promover el ahorro del agua	PROCAMPO ecológico, FREGO Microcuencas, PEI, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Degradación de suelos por erosión hídrica superficial	Matorral subtropical y bosque secundario ubicados al norte y sur de la subcuenca, en zonas de lomeríos y montañas. En el sur, el problema afecta algunas áreas de piedemonte, ubicadas dentro de la zona de cabecera	Se recomienda limitar el crecimiento de las zonas agrícolas de temporal y conservar y restaurar el matorral subtropical secundario de la parte norte de la cuenca. Se sugiere también restaurar y conservar el bosque de encino de los alrededores de Atotonilco el Alto, Ayotlán, Degollado y Pánjamo	
	Pérdida de la vegetación natural y escasez de agua	Zonas de cabecera al su-sureste de la subcuenca	Se sugiere especial atención en la conservación del matorral subtropical ubicado en el cerro de Las Ranas, en la localidad del mismo nombre. Conservar los remanentes de bosque de encino ubicados en zonas de cabecera al sureste de la subcuenca, en el municipio de Puruándiro	
ACTIVIDAD INDUSTRIAL	Contaminación de corrientes superficiales y subterráneas que drenan de las subcuencas Turbio y Alto Lerma	Río Lerma	Se recomienda el impulso de mecanismos de negociación intercuenca, que prevean la conformación multistatal de la subcuenca, el alto grado de pluralidad política y la limitada capacidad de acción de los municipios frente a problemáticas que rebasan sus límites político-administrativos	PSA, Programa de modernización de los organismos operadores
DINÁMICA URBANA	Contaminación de aguas por descargas urbanas	En especial los municipios que descargan directamente al río Lerma, como son La Piedad, Yuricuario y La Barca	Se recomienda agilizar las labores de rehabilitación de las plantas de tratamiento existentes, así como planear la construcción de nueva infraestructura de saneamiento con tecnologías de tratamiento secundario, para contrarrestar los efectos de contaminación en el río y su posterior acumulación en el lago de Chapala	APAZI, PROSAPIS, PRODER, PE-Manejo de desechos comunitarios líquidos y sólidos

MELCHOR OCAMPO

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
INDUSTRIA MADERERA	Amenaza y deterioro de ecosistemas naturales (sin degradación aparente)	Remanentes de bosque primario y secundario ubicados al sureste, en Erongaricuaro, Nahuatzen y Zacapu y al suroeste, en Quiroga, Morelia y Coeneo. Zonas de matorral subtropical al norte de la subcuenca	Se recomienda promover la conectividad de la vegetación natural, y mantener la vegetación natural y la fauna silvestre en estas zonas. Se sugiere implementar estrategias de vigilancia y monitoreo para controlar la tala ilegal y crear redes de control y monitoreo de incendios forestales. Se recomienda también controlar el pastoreo de ganado en estas zonas.	PSA-Hidrologicos, PSA-Derivados de la biodiversidad, PSA-Captura de carbono
			Se sugiere respetar los planes de manejo forestal y promover la reforestación, ya que el óptimo estado de los bosques es además un importante insumo para las familias que viven de la industria maderera en esta zona.	PROCEPLAV, RET Manejo forestal, PROCOEF
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Antropización de la cubierta vegetal	Zonas de bosque de pino, encino y matorral subtropical a lo largo de toda la subcuenca	Para revertir este proceso se sugieren medidas de conservación y restauración en zonas de montaña, principalmente en los macizos de bosque primario de pino y pino encino ubicados al sur de la subcuenca, en zonas de cabecera	PROCOEF, RET-Cercos vivos
	Degradación de suelos por erosión hídrica superficial	Municipios de Panindicuaró, Jiménez, Morelia, Coeneo, Huaniqueo y Morelos, en zonas de agricultura de temporal y pastizal inducido	Ante la necesidad de conservar y rehabilitar los suelos para evitar y controlar la erosión y dada la vulnerabilidad socioeconómica de los municipios más dependientes del sector primario, es necesario dirigir programas que promuevan el aprovechamiento sustentable de los recursos	PROCAMPO ecológico, PROCO Microcuencas, RET-Flora y fauna, RET-Cercos vivos, RET-Manejo forestal, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
			Frenar el avance de la frontera agrícola, sobre todo hacia zonas de lomeríos y piedemonte. Se sugiere también mejorar las técnicas agrícolas, con el fin de incrementar los rendimientos asociados a los cultivos de esta subcuenca y contrarrestar los efectos de la degradación en suelos.	
INDUSTRIA QUÍMICA E INDUSTRIA DE ALIMENTOS	Contaminación en aguas residuales por descargas industriales	Municipio de Zacapu	Dado que este municipio descarga directamente al río Angulo, se sugiere revisar la red de colectores, invertir en infraestructura de saneamiento y procurar que las empresas cuenten con su propia planta de tratamiento	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación industria limpia

SOLÍS

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD AGROPECUARIA	Contaminación de agua por residuos agroindustriales	Porción sur de la subcuenca, en zonas de granjas porcinas	Se recomienda tratar los residuos de esta actividad pecuaria, antes de desembocar al río Tarma	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación industria limpia
	Deterioro de los ecosistemas terrestres (degradados)	Porción norte de la subcuenca, en donde predomina el ganado ovino y caprino	Se recomienda fomentar el ganado controlado para evitar la intensificación de procesos de deforestación y erosión	PSA-Hidrológicos, PSA-Derivados de la biodiversidad, PSA-Captura de carbono, PROCIUM
	Declinación de la fertilidad en suelos	Todos los municipios que integran la subcuenca, con excepción de Zinapécuaro y Talpajahuá.	Se recomienda la aplicación de técnicas agrícolas de menor impacto que eviten el uso de agroquímicos, así como incentivar el uso de abono orgánico. Se recomienda además el desarrollo de sistemas de riego tecnificado para promover el ahorro de agua	PROGRAMO ecológico, FICO Microcuencas, RE, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Degradación del suelo por erosión hídrica superficial	Todos los municipios que integran la subcuenca, a excepción de Contepec, Tarandacuao y El Oro	Además de mejorar las técnicas agrícolas, se sugiere frenar el avance de esta actividad, sobre todo hacia zonas de laderas de colinas y piedemonte, ubicadas en zonas de cabecera	
	Amenaza y deterioro de ecosistemas terrestres (sin degradación aparente)	Porciones norte, sur y este de la subcuenca	Se recomienda ampliar las zonas de conservación al sur de la subcuenca y colaborar con los municipios de Angangueo, Aporo y San Felipe para la preservación del corredor del bosque de oyamel y pino. Se sugiere frenar el avance de la agricultura y el pastizal inducido hacia estas zonas, así como conservar el macizo de bosque de pino encino en la sierra que comparten los municipios de Yurécuaro, Eptado Huerta y Coronado	PROCIUM, PROCORE, PROGER, PSA-Hidrológicos, PSA-Derivados de la biodiversidad, PSA-CASA-Reconversión de suelos agrícolas
			Al norte de la subcuenca se recomiendan acciones de restauración del material subtropical, en los municipios de Jarácuaro y Acámbaro.	FICO Microcuencas, RE-Flora y fauna, PSA-CASA-Derivados de la biodiversidad
Impactos asociados a la sobrepoblación de presas y bordos para riego y abrevadero	Toda la subcuenca	Se recomienda implementar acciones de manejo de suelos cuenca arriba, para evitar el aporte de sedimentos a las presas, así como monitorear el flujo de descargas que llegan a la presa Solís y la calidad del agua que sale de la misma. Asimismo, es importante mantener y rehabilitar el flujo natural de los ríos, evitando que nuevas barreras u obstáculos afecten su dinámica natural. Para ello, deben considerarse los impactos que el represamiento de los ríos tiene sobre la integridad ecológica (diversidad de especies y diversidad estructural además de la funcionalidad del ecosistema) y tomar en cuenta dichos impactos en la planeación de nuevas obras hidráulicas, vías de comunicación y distribución espacial de las actividades productivas	Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)	

TEPUXTEPEC

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
INDUSTRIA METÁLICA BÁSICA	Contaminación de agua y suelos por el uso indiscriminado de plásticos	Porción sureste de la subcuenca	Se recomienda reforzar los mecanismos de cumplimiento de la regulación industrial sobre las descargas y residuos sólidos que este tipo de industria genera, especialmente la asentada en el municipio de Jocotitlán	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación industria limpia
INDUSTRIA TEXTIL	Contaminación de agua por desechos industriales	Al centro y al este de la subcuenca	Además de colaborar con MOREM para vigilar el cumplimiento de la regulación industrial en esta zona, se recomienda al municipio de Morelos desarrollar infraestructura de saneamiento y registrar la calidad de las descargas urbanas al río Lerma, para evitar que talleres domésticos amijen desechos industriales al drenaje	
DINÁMICA URBANO INDUSTRIAL	Contaminación de agua por descargas urbanas sin tratamiento	Municipio de Tlilahuaca	Se recomienda al municipio la planeación adecuada de plantas de tratamiento, debido a su creciente concentración poblacional y el desarrollo de nuevos parques comerciales e industriales en la zona, para mejorar la calidad y funcionamiento de los ecosistemas riparios	PRODERA, PROSAPP, PET-Manejo de desechos comunitarios líquidos y sólidos
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Amenaza y deterioro de ecosistemas terrestres (sin degradación aparente)	Noreste, centro y sureste de la subcuenca	Se recomienda conservar los remanentes de bosque de encino, pino, encino y oyamel, especialmente en zonas de cabecera ubicadas en los municipios de Amelco de Bonfil, Acambay, Morelos y Ajupíco	PRODERA, PSA-Hidrología, PSA-Biodiversidad, PSA-Captura de carbono
	Deducción de la fertilidad en suelos y erosión hídrica superficial	Los municipios más afectados son: al norte, Epitacio Huerta, Amelco y Temascalcingo, en zonas de agricultura de temporal. Al sur, en Morelos, Jocotitlán y San Felipe del Progreso, en zonas de agricultura de temporal y pastizales inducidos	Se recomienda detener el avance de la agricultura de temporal y el pastizal inducido, además de promover la continuidad de la vegetación en el municipio de Temascalcingo, desde el Cerro de las Cruces hasta el cerro aledaño a la localidad de Santiago Cochochitlán. También en la zona que parte de la Mesa del Venado hacia el norte de la subcuenca (hacia Contepec) para fomentar la protección de suelos y frenar el avance de los procesos de degradación y la sedimentación de cauces, bordos y presas. Es necesario también fomentar el mejoramiento de las técnicas de labranza, para disminuir el uso intensivo de maquinaria y contrarrestar la pérdida de abono orgánico del suelo	PROGRAMA ecológico, PRO Microcuencas, PET, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Amenaza y deterioro de ecosistemas ribereños degradados	Aguas del río Lerma que fluyen hacia la subcuenca contigua (Solís)	Se recomienda coordinarse con los municipios de la subcuenca contigua (Solís) para la restauración de los ecosistemas ribereños alterados por el crecimiento de la presa Tepuxtepec. Luego de su represamiento en dicho lugar, es necesario implementar medidas de restauración del río Lerma, creando franjas riparias de amortiguamiento con vegetación nativa para reducir la velocidad del agua, contener sedimentos y contaminantes, promover absorción de nutrientes y controlar la temperatura del agua que sale de la presa	PRO Microcuencas, PET, PSA-Hidrología

YURIRIA

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
INDUSTRIA TEXTIL	Aporte de contaminantes al lago de Yuriria	Porción noroeste de la subcuenca y municipios aledaños al lago	Se recomienda desarrollar mecanismos de cumplimiento de la regulación sobre las descargas industriales, vigilando que las fábricas cuenten con mecanismos de tratamiento de sus descargas. Se sugiere monitorear las descargas municipales que se vierten en el lago, a fin de prevenir el aporte de contaminantes por posibles descargas de talleres domésticos conectados a la red de colectores municipales.	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación Industria Limpia
ACTIVIDAD URBANA	Contaminación del agua por descargas urbanas	Zona conurbada Uruangato-Moroleón y cabecera municipal de Yuriria	Se recomienda la construcción de plantas de tratamiento primario y secundario en estos municipios, para disminuir la contaminación del lago y prevenir posibles descargas de textiles familiares conectadas a la red de colectores. Asimismo, se sugiere la ampliación y buen funcionamiento de dicha red y estrategias de saneamiento en las localidades aledañas a estos municipios.	ANADI, RICOOP, Programa de Modernización de Organismos Operadores
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Degradación de suelos por erosión hídrica superficial	24% de la subcuenca, en zonas de matorral subtropical y agricultura de temporal	Se recomienda mejorar las técnicas agrícolas y restaurar la vegetación natural para aminorar los efectos de este tipo de degradación, tales como el aporte de sedimentos al lago de Yuriria. Se sugiere restaurar el matorral subtropical secundario, para reducir los problemas de erosión y el aporte de sedimentos al lago de Yuriria.	PROCESO ecológico, RICO Microcuencas, RCO, RIA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Fragmentación de la vegetación natural y bajos rendimientos agrícolas	Municipios de Yuriria, Moroleón y Santiago Maravatío	Se sugiere frenar el avance de la agricultura de temporal y una mayor inversión en el desarrollo de tecnologías agrícolas de riego, que incluyan prácticas de conservación de suelos y un uso más eficiente del agua. Asimismo, es necesario desarrollar acciones que promuevan la diversificación de las fuentes de empleo y mecanismos de política social que aminoren el impacto socioeconómico de los bajos rendimientos agrícolas.	PROCESO ecológico, RICO Microcuencas, RCO, RIA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Eutrofización del lago de Yuriria	Tierras agrícolas de riego aledañas a este cuerpo de agua	Se sugiere disminuir el uso intensivo de agroquímicos en terrenos de agricultura de riego en esta zona, para disminuir la concentración de nutrientes y la proliferación de maleza acuática en el lago.	

ZULA

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
AGROINDUSTRIA	Contaminación del agua por descargas de la industria tequilera	Porción centro-norte de la subcuenca	Se recomienda reforzar el monitoreo de las descargas industriales y desarrollar mecanismos de cumplimiento de la regulación industrial	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación Industria Limpia
	Contaminación en escurrimientos y descargas por residuos agroindustriales (agroquímicos y excretas)	Presa el Jibuta	Se recomienda desarrollar mecanismos de cumplimiento de la regulación industrial que obliguen a las granjas porcinas a tratar el agua que utilizan tanto para sus procesos productivos como para la limpieza de excretas (en el caso de las granjas porcinas) antes de descargarla a dicha presa, o a terrenos de cultivo aledaños a las granjas o plantas procesadoras.	
INDUSTRIA MADERERA	Deterioro de ecosistemas terrestres degradados (secundarizados y fragmentados)	Remanentes de bosque ubicados al sur de la subcuenca, sobre todo en el municipio de Ocotlán	Dado su alto índice de naturalidad, en esta subcuenca se recomienda fomentar la continuidad del bosque, así como el diseño de planes de manejo forestal que incluyan acciones de conservación de las zonas boscosas ubicadas al norte y sur de la subcuenca, en zonas de cabecera. Del mismo modo, es pertinente implementar acciones de restauración en las zonas de bosque secundario	PROCODE, PROCESAL, PSA-Hidrologicos, PSA-Biodiversidad, PSA-Captura de carbono
	Tala ilegal		Implementar redes de vigilancia y monitoreo de incendios	Programa estatal de prevención de incendios, PFI, PFCO Microcuencas
DINÁMICA URBANA	Alteración de la dinámica fluvial en la desembocadura del río Zula y en la hidrología subterránea	Desviación del cauce natural del río Zula y su encauzamiento hacia el río Santiago	Para contrarrestar los posibles problemas causados por la sedimentación y el trabajo erosivo no sólo en el río, sino en el equilibrio microclimático del lago de Chapala, se recomienda reintroducir especies nativas de sistemas riparios (vegetales y peces) para mejorar la calidad y funcionamiento de los ecosistemas riparios	PSA-Hidrologicos, PSA-Biodiversidad, PFI-Manejo, conservación y rehabilitación de cuerpos de agua
	Contaminación del río Zula por descargas urbanas	Río Zula a su paso por los municipios de Arandas, Atotonilco el Alto y Ocotlán	Se sugiere vigilar que las empresas asentadas en estos municipios no descarguen a la red de colectores municipal, así como la inversión en infraestructura de saneamiento municipal	APZUL, PROCAPFI, PFI-Manejo de desechos comunitarios líquidos y sólidos.

IGNACIO ALLENDE

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Degradación de suelos por erosión hídrica superficial	Zonas de agricultura de temporal ubicadas al norte, noreste y noroeste, y áreas de pastizales inducidos localizados al sur y sureste	De forma general, es necesario dirigir programas que promuevan acciones de conservación y restauración de suelos, para evitar y controlar la erosión y favorecer la recarga de los acuíferos	Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Declinación de la fertilidad del suelo	Las zonas más afectadas se localizan en el sur, sureste, centro y noroeste de la subcuenca	Se recomienda detener el avance de la agricultura hacia estas zonas, así como contrarrestar este tipo de erosión promoviendo la cubierta vegetal con especies adaptadas a las condiciones del suelo. Promover de manera especial la aplicación de técnicas agrícolas de menor impacto ambiental, con el fin de incrementar sus rendimientos y frenar los problemas de degradación de suelos. En el caso de la agricultura de temporal, se sugiere detener su avance hacia zonas de laderas de colinas y piedemonte. Para la agricultura de riego, se sugiere desincentivar el uso excesivo de maquinaria y la sustitución de agroquímicos por abono orgánico en ambos casos.	PROCAMPO ecológico, FICO Microcuencas, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
PLANEACIÓN DEL TERRITORIO	Amenaza y deterioro de ecosistemas terrestres (sin degradación aparente)	Madizos montañosos de la Sierra de Santa Rosa y la Sierra Lobos	Se recomienda mantener la vegetación natural y la fauna silvestre, creando zonas de amortiguamiento al exterior de los remanentes de los ecosistemas primarios para mejorar sus condiciones microclimáticas y la calidad del ecosistema en su conjunto	PROCOPE, PSA-Hidrológicos, PSA-Biodiversidad, PSA-Captura de carbono, RET-Conservación de flora y fauna, RET-Manejo forestal, RET-Cercos vivos, FICO Microcuencas.
			Se sugiere implementar programas de vigilancia y monitoreo en coordinación con la CONANP, para prevención de incendios y control de la tala ilegal	
DINÁMICA URBANA	Amenaza y deterioro de ecosistemas ribereños (sin degradación aparente)	Ríos Grande, el Plan, el Saucito y Xocoaxitlo	Se sugiere invertir en plantas de tratamiento, sobre todo en el municipio de Dolores Hidalgo, así como el desarrollo de acciones de saneamiento en las comunidades rurales que vierten sus descargas a dichos ríos. Asimismo, se sugieren medidas de conservación de los ecosistemas ribereños, tales como mantener y promover la vegetación riparia para contener sedimentos y contaminantes, y mejorar la calidad del hábitat. Además hay que evitar barreras u obstáculos que afecten la dinámica natural del agua en los ríos.	ARZU, PROSAPP, RET-Manejo de desechos comunitarios líquidos y sólidos

CHAPALA

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD INDUSTRIAL	Contaminación del lago de Chapala por residuos industriales tales como grasas, aceites y detergentes, (DTP) y metales pesados (cromo, plomo, zinc y mercurio)	Los sedimentos contaminados con metales pesados predominan en el ambiente deltáico de la desembocadura del Lerma y la porción centro-occidental del lago	Es determinante el desarrollo de mecanismos de cumplimiento de la regulación industrial cuenca arriba, que obligue a las industrias a tratar de forma adecuada sus residuos antes de descargarlos al río. Se sugiere también el monitoreo del tipo de descargas urbanas que se vierten río arriba, para prevenir que talleres domésticos textiles o de curtidoras estén descargando al drenaje municipal en las subcuencas de Lerma y Alto Lerma. Del mismo modo, resulta muy importante vigilar el buen funcionamiento de las estaciones hidrométricas ubicadas en el lago	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación Industria Limpia.
ACTIVIDAD AGROPECUARIA	Contaminación del lago por residuos de la agroindustria	Lago de Chapala	Se recomienda desarrollar mecanismos de cumplimiento de la regulación industrial que obliguen a los centros de producción pecuaria a darle un uso más eficiente al agua, así como a tratar aquella que utilizan tanto en sus procesos productivos como en la limpieza de excitas.	PROCESO ecológico, FRED Microcuencas, FET-Cercos vivos, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Eutrofización	Lago de Chapala	Se recomienda la aplicación de técnicas agrícolas de menor impacto, tales como el uso de abono orgánico, que eviten el uso de agroquímicos, debido a que el exceso de nutrientes y materia orgánica afecta el equilibrio de los ecosistemas acuáticos, incrementando la eutrofización del lago	
	Salinización	Terranos agrícolas situados al este y al sur del lago	Este problema se debe a la acumulación del escurrimiento superficial y subsuperficial con concentración de sales que podrían provenir de agroquímicos utilizados cuenca arriba. Por esta razón, se sugiere también desincentivar el uso excesivo de agroquímicos y su sustitución por abono orgánico, además de impulsar programas de manejo de suelos cuenca arriba	
	Degradación del suelo por erosión hídrica superficial	Porción sur y sureste de la subcuenca, en zonas de agricultura de riego y temporal, pastizales inducidos y matorral subtropical secundario ubicados en los municipios de La Manzanilla de la Paz, Tizapán el Alto y Tzacuaca	Se recomienda detener el avance de la agricultura hacia zonas de laderas de colinas y piedemonte, así como contrarrestar este tipo de erosión promoviendo cubierta vegetal con especies adaptadas a las condiciones del suelo. Es importante implementar prácticas de conservación de suelos y control de azolves, dado que en estas zonas existe una red fluvial conectada que vierte agua al lago de Chapala, arrastrando sedimentos hacia el mismo	

CHAPALA (continuación)

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
ACTIVIDAD AGROPECUARIA	Declinación de la fertilidad en suelos	Zonas de agricultura de riego, temporal y pastizal inducido en los municipios de Zahuayo, Cojumatlán de Régules, Venustiano Carranza, Villamar, Jiquilpan y Tuxtepec	En los terrenos agrícolas, se recomienda mejorar las prácticas de agricultura, incorporando técnicas de manejo de suelos, para mejorar la calidad de este recurso y disminuir el consumo de agroquímicos. Esta recomendación es particularmente relevante en los municipios de Villamar y Cojumatlán de Régules, puesto que estos municipios basan su economía en actividades primarias y se trata de poblaciones socioeconómicamente vulnerables. De la misma forma, se sugiere disminuir el uso intensivo de maquinaria, principalmente en zonas de laderas de colinas y banuras	PROGRAMA ecológico, FICD Microcuencas, RE-Cercos vivos, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
DINÁMICA URBANA	Ramón de material en laderas	Pericón este del lago, en los municipios de Chapala y Jocotepec	Se recomienda planear el crecimiento urbano hacia estas zonas y controlar el crecimiento del pastizal inducido y el avance de la agricultura de temporal. Se sugiere también conservar y restaurar laderas con vegetación primaria y secundaria de bosque de encino, al norte de las localidades de Mezcala y La Arena, en el municipio de Poncitlán	PROGRAMA ecológico, FICD Microcuencas, RE, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
			Se recomienda que los nuevos desarrollos urbanos regulen sus consumos de agua y cuenten con sus propias plantas de tratamiento de aguas	ANIZI, Programa de Modernización de Organismos Operadores y PROCEP
	Degradación por asfaltamiento		Se recomienda que los gobiernos estatales y municipales diseñen planes de desarrollo urbano que controlen la expansión del crecimiento hacia la zona del lago, con el fin de evitar el riesgo de inundaciones y detener el fenómeno de la asfaltación. Se sugiere también la revisión de las concesiones en terrenos del lago	Programa de Desarrollo Institucional PDA
	Cambio de uso	Pericón este del lago de Chapala	Además de la aparición de usos de suelo como pastizales inducidos y agricultura de riego, de temporal y de humedad, en esta zona se ha incrementado la población de popal-tular, creando una especie de barrera física que detiene el flujo del río Lerma. La aparición de este tipo de vegetación es un indicador del incremento en la cantidad de sales en suelo, por lo que se sugiere tomar en cuenta las recomendaciones sobre la disminución en el consumo de agroquímicos cuenca arriba	FICD Microcuencas, RE, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)

CHAPALA (continuación)

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
DINÁMICA URBANA	Deforestación	Zonas de bosque de pino y encino al sur de la subcuenca, zonas de matorral y matorral subtropical en Villamar, Jiquilpan y Cojumatlán de Reyes	Conservar los remanentes de vegetación natural existentes y promover la conectividad entre ellos, fomentando la creación de corredores de vegetación con especies vegetales y animales nativos	PEU-Conservación flora y fauna, PROGRES, PAGO Microcuencas, PSA-Hidrológicos, biodiversidad y captura de carbono
	Contaminación de agua por descargas urbanas	Lago de Chapala	Dado que el lago de Chapala es el principal cuerpo receptor de la subcuenca, se recomienda invertir en la construcción de nuevas plantas de tratamiento y ampliar la capacidad de tratamiento en los municipios de Chapala, Jucotepec, Jamay e Ixtlahuacán. Se sugiere también reparar aquellas que se encuentran fuera de funcionamiento e impulsar acciones de saneamiento en las localidades rurales de la subcuenca, tales como Villamar, Cojumatlán y La Manzanilla de la Paz	AMAZI, MODSAPY, PROGRES, Programa de Modernización de Organismos Operadores, RE-Manejo de desechos comunitarios líquidos y sólidos

PÁTZCUARO

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
DINÁMICA URBANA	Contaminación del agua por descargas urbanas sin tratamiento	Lago de Pátzcuaro	Se estima que este cuerpo de agua recibe diariamente un volumen de 28,249 metros cúbicos de aguas negras, por lo que resulta muy importante monitorear el tipo de descargas que se vierten en los ríos y afluentes del lago de Pátzcuaro. Se recomienda también vigilar el funcionamiento de las plantas tratadoras de Quiroga y Pátzcuaro, así como ampliar la red de colectores municipales.	ARNDI, PROCLAPYS, PROCOBE, Programa de Modernización de Organismos Operadores, PEH-Manejo de desechos comunitarios líquidos y sólidos
ACTIVIDAD AGROPECUARIA	Eutrofización		Se recomienda la aplicación de técnicas agrícolas de menor impacto, tales como el uso de abono orgánico y realizar prácticas de conservación de suelos en las laderas adyacentes.	
	Degradación de suelos por erosión hídrica superficial	Terrenos de agricultura de temporal y pequeños manchones de bosque de pino encino ubicados al norte, sur y oeste del lago de Pátzcuaro	Se recomienda mejorar las técnicas agrícolas y restaurar la vegetación natural para atenuar los efectos de este tipo de degradación, tales como el aporte de sedimentos al lago. Se sugiere conservar los remanentes de bosque de encino y promover la conectividad entre ellos, desarrollando labores de restauración y deteniendo el avance de la frontera agrícola.	PROCAMPO ecológico, FICCO Microcuencas, PEH, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Deforestación	Al sur del lago de Pátzcuaro, en los municipios de Pátzcuaro y Erongaricuaró y al noreste, en el municipio de Quiroga	Se propone conservar las coberturas de bosque primario tanto de pino como de encino, principalmente en zonas de cabecera. Las mejoras del bosque favorecerán la calidad del lago, reduciendo los aportes de sedimentos ocasionados por la erosión hídrica superficial. Se sugiere también desarrollar medidas para lograr un aprovechamiento sustentable de bosques y especies maderables y no maderables, complementándose con acciones que ofrezcan un valor agregado a través de la transformación del recurso.	PEH-Conservación flora y fauna, PROCOBE, FICCO Microcuencas, PSA-Hidrologicos, biodiversidad y captura de carbono, PROCLAPYS
			Se recomienda controlar el pastoreo de ganado en zonas de montaña para evitar el deterioro de los ecosistemas y la degradación de los suelos.	Programa de Bordería-CONAZA
	Definición de la fertilidad en suelos	Porciones al este y sur de la subcuenca	Se sugiere fomentar el mejoramiento de las técnicas agrícolas y desarrollar alternativas a los sistemas de producción agropecuaria altamente mecanizados, principalmente en zonas de laderas y colinas de los municipios de Pátzcuaro, Tantzuntzan y Quiroga.	PROCAMPO ecológico, FICCO Microcuencas, PEH, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)

LA PURÍSIMA

ACTIVIDAD	PROBLEMA ASOCIADO	ZONAS IDENTIFICADAS	RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS	PROGRAMAS
DINÁMICA URBANO INDUSTRIAL	Contaminación de suelos	Municipio de Silao	Dado el carácter predominantemente urbano que ha adquirido este municipio, se recomienda la construcción de una planta de tratamiento de aguas, pues actualmente sus descargas drenan directamente a las zonas de agricultura de riego circundantes al municipio	ARAU, PRODER
		Municipios de Romita y Pueblo Nuevo	Ambos municipios basan su economía en la agricultura, por lo que se sugiere vigilar el estado de las aguas que bañan las planicies aluviales de ambos municipios, pues podrían estar arrastrando contaminantes descargados por los centros urbano-industriales ubicados cuenca arriba. Igualmente, se recomienda vigilar que en los municipios de Irapuato y Silao se desarrollen mecanismos de cumplimiento de la regulación industrial sobre descargas y vigilar que las industrias cuenten con sistemas de tratamiento en sus plantas	Programa Nacional de Auditoría Ambiental-Certificación industria limpia
AGROINDUSTRIA	Contaminación de agua asociada a desechos de las granjas porcícolas	Tramo del río Lerma, luego de recibir las descargas del municipio de Irapuato, hasta La Piedad (subcuenca Lerma)	Se recomienda desarrollar mecanismos de cumplimiento de la regulación que obliguen a las granjas porcícolas a tratar el agua que utilizan en sus procesos productivos y hacer limpieza de excretas antes de descargarla al río o a terrenos de cultivo adyacentes	
ACTIVIDAD AGRÍCOLA	Deducción de la fertilidad en suelos	Este proceso afecta todo el sur y el centro de esta subcuenca, sumando un 45% de superficie afectada	Se recomienda la aplicación de técnicas ambientales de menor impacto que eviten el uso de agroquímicos, así como mejorar las técnicas agrícolas con medidas como el uso de abono orgánico y la disminución en el uso de maquinaria. Se recomienda además el desarrollo de sistemas de riego tecnificado para promover el ahorro de agua	PROCAMPO ecológico, FRCO Microcuencas, RET, PSA-Reconversión de sistemas agroforestales, Manejo y conservación de suelos agrícolas (Alianza para el Campo)
	Salinización	Zona sur del municipio de Irapuato y oeste del municipio de Pueblo Nuevo	Disminuir el uso intensivo de agroquímicos sobre todo en las zonas de agricultura de riego ubicadas cuenca arriba, debido a que estos podrían aumentar la concentración de sales acumuladas en estas zonas de la subcuenca	
	Erosión por cárcavas	Zonas de pastizal incluido al suroeste del municipio de Guanajuato	Dado que las zonas afectadas rodean fragmentos de bosque de encino, se sugiere implementar medidas de conservación en estas zonas y promover la continuidad de los remanentes de este tipo de vegetación natural	RET-Conservación flora y fauna, RET-Cercos vivos, PRODER, FRCO Microcuencas, PSA-Hidrológicos, biodiversidad y captura de carbono





A MANERA DE CONCLUSIÓN

Helena Cotler Ávalos, Marisa Mazari Hiriart, José de Anda Sánchez, Exequiel Ezcurra

EL PANORAMA ACTUAL Y LAS TENDENCIAS de la situación social y ambiental de la cuenca Lerma-Chapala no son alentadores. Décadas de crecimiento demográfico y económico con escasa o nula planificación han causado estragos sobre sus ecosistemas. Ante la pérdida de la funcionalidad ecosistémica de la cuenca y considerando su alto nivel de deterioro ambiental, la sustentabilidad presente y futura de la región está en juego. A lo largo de este *Atlas* se abordan una gran variedad de temas que ilustran las causas y las consecuencias del deterioro, analizadas desde diferentes puntos de vista. A pesar del esfuerzo invertido y de la diversidad de autores, la cobertura temática no es exhaustiva: los problemas de la cuenca pueden ser enfocados desde muchos otros puntos de vista, aún desde la perspectiva de nuevos tópicos por desarrollar.

A lo largo de los textos aquí presentados se mencionan numerosas recomendaciones que pueden tomarse como base para revertir — y a largo plazo recuperar — la funcionalidad eco-hidrológica de la cuenca. Sin embargo, para ello es necesario superar las deficiencias de los arreglos institucionales, así

como equilibrar y armonizar los intereses económicos, sociales y ambientales de esta compleja región. Asimismo, es necesario trabajar en conjunto para lograr una mejor planeación y manejo de los recursos naturales, y gestionar el financiamiento necesario para la ejecución de proyectos orientados a la prevención de la contaminación y a la restauración ambiental de la cuenca.

Actualmente, el Consejo de Cuenca funciona como un espacio formal de discusión y concertación para la toma de decisiones que afectan a la región, en donde el manejo de los recursos hídricos es el punto central de las discusiones. No obstante, concebir un manejo integral de la cuenca es aún un reto difícil de alcanzar, debido a la complejidad del actual arreglo institucional. Éste determina que las acciones en materia de recursos naturales en general se realicen de manera independiente — y a veces enfrentada — entre las diferentes instituciones de gestión ambiental, sin la existencia de un instrumento de planeación que facilite la programación de proyectos precisos y adecuados para apuntalar objetivos regionales, tanto en relación con la cantidad como con la calidad del agua.

Por otro lado, la gestión ambiental por cuencas no ha sido del todo exitosa en integrar sólidamente la participación de la sociedad como elemento indispensable para alcanzar la equidad en el manejo de los recursos y la gobernabilidad. Para el caso específico de la cuenca Lerma-Chapala es necesario fortalecer los espacios y mecanismos de coordinación entre las agencias responsables del manejo de recursos forestales, suelo y agua; impulsar una visión común de la problemática de la cuenca, y consensuar objetivos y metas comunes, con el fin de que se traduzcan en acciones locales coordinadas.

El agua sigue siendo el tema ambiental, económico y político más conflictivo de la región. Comúnmente se ha dado mayor importancia al agua superficial, que es la que se percibe de manera más obvia. Sin embargo, en esta obra queda de manifiesto igualmente la intensa explotación de los sistemas de agua subterránea, mismos que se encuentran interconectados con las aguas superficiales, por lo que la explotación intensiva de uno afecta al otro. El agua es un recurso fundamental para el desarrollo de las actividades productivas y para el sustento de los ecosistemas, pero también debe ponerse en la balan-

za el grado de deterioro de los otros recursos naturales tales como suelos, bosques y por ende, biodiversidad, ya que han llegado a su límite, afectando la salud y la economía de la población. A pesar de ello, la problemática ambiental de la cuenca sigue sin ocupar un lugar relevante en la agenda de los gobiernos, debido muchas veces a que no existe una presión real por parte de los actores y usuarios para darle tratamiento de problema público. Ante esta realidad, se hace evidente la necesidad de generar el interés de la participación ciudadana y el nivel adecuado de educación ambiental, a fin de crear conciencia ecológica.

Bajo la perspectiva de la pérdida de disponibilidad y ante una mayor demanda del recurso para riego agrícola, es obvio que se hará cada vez más uso del agua residual tratada para cubrir dicha demanda. Para ello, será necesario cuidar los aspectos normativos con el fin de prever efectos en la salud pública; esto es, cuidar la eliminación e inactivación de patógenos y de compuestos tóxicos en las aguas vertidas. Dado que la contaminación microbiológica es la más ubicua y que asimismo está relacionada con la cantidad de materia orgánica y nutrientes en el sis-

tema, es necesario plantear como prioridad la instalación de plantas de tratamiento *ad hoc* por zona, que permitan mejorar la calidad del agua, misma que podrá ser complementada mediante el proceso de depuración natural de los ríos. Esto permitiría una mejoría notoria en el sistema con un menor riesgo para las zonas riparias y un restablecimiento de las condiciones de la calidad del agua para diversos usos.

Como se mencionó en la introducción de esta obra, la cuenca Lerma-Chapala ha sido objeto de estudios e investigaciones de diversa índole. Sin embargo, aún existen vacíos de información que es necesario cubrir e información que requiere ser actualizada, detallada y monitoreada como insumo indispensable para una mejor toma de decisiones. Entre algunos de los temas, cuya investigación debe ser fortalecida, se pueden mencionar:

- Los microorganismos indicadores y su relación con microorganismos patógenos, particularmente de aquellos que presentan resistencia a los antibióticos;
- los compuestos organoclorados y organofosforados, especialmente los plaguicidas, de los cuales se tiene una idea somera sobre el tipo y cantidad usa-

dos en la cuenca, pero se desconoce a detalle los ciclos de su aplicación en los diferentes cultivos;

- los efectos de los residuos de los compuestos agroquímicos en la inocuidad de los alimentos, contaminación del suelo y degradación de los ecosistemas acuáticos;
- la contaminación por organismos diferentes a las bacterias, en especial helmintos y virus, que pueden alterar la calidad del agua tanto en su uso para el consumo humano como para el riego agrícola;
- la definición de incentivos para la implantación de sistemas tecnificados para el riego, lo cual mejoraría substancialmente los rendimientos de diversos cultivos agrícolas;
- el estudio de las consecuencias de la contaminación originada por otros compuestos tóxicos, como compuestos orgánicos persistentes y disruptores endocrinos (hormonas), de los cuales se carece de información y que afectan tanto a los organismos acuáticos como a los terrestres, incluyendo a los humanos, ya que pueden estar presentes en la cadena productiva de los alimentos de consumo humano producidos en la región;

• la evaluación de las causas y efectos de la contaminación del agua a nivel de subcuenca por diversos aportes, y las posibles maneras de disminuir caso por caso los efectos deletéreos de esta alteración ambiental, dada la diversidad espacial de este proceso, con el fin de proponer soluciones económicas específicas a mediano y corto plazo;

• el análisis social y económico del deterioro de los ecosistemas, en términos de la disminución de producción de bienes y servicios ambientales;

• el análisis del efecto acumulativo de la instalación de industrias, obras hidráulicas y asentamientos humanos en la dinámica eco-hidrológica de la cuenca;

• la elaboración de estudios a mayor detalle sobre la degradación de suelos, sus causas y efectos, principalmente en lo que se refiere a la sedimentación en los cuerpos de agua (presas, canales, ríos, lagos) y su efecto en los ecosistemas acuáticos;

• el análisis de la aptitud de las tierras de la cuenca, como insumo para mejorar la planificación y el manejo de los recursos naturales, especialmente del agua;

• la evaluación del caudal ecológico necesario para mantener y/o restaurar el carácter, extensión y condición de los hábitats acuáticos y riparios, de forma que sean los apropiados para mantener procesos ecológicos que aseguren el nivel de bienes y servicios requeridos por la sociedad, y

• el análisis de la vulnerabilidad de la población de la cuenca ante eventos hidrometeorológicos extremos, junto con el diseño de políticas públicas que contribuyan a reducir esta vulnerabilidad social ante el cambio climático.

En suma, consideramos que el fortalecimiento de la investigación y su uso sistemático para la toma de decisiones constituye hoy en día el camino que debemos transitar para recuperar la sustentabilidad de nuestros ecosistemas y de ese modo, mejorar nuestra calidad de vida. En los próximos años será necesario recordar y reiterar que la posibilidad de éxito en la gestión de los recursos naturales sólo podrá obtenerse mediante la cooperación y la coordinación de los diferentes niveles de gobierno y con el fortalecimiento de la sociedad en la toma de decisiones.

LISTA DE PARTICIPANTES E INSTITUCIONES

AGUILAR, Adrián Guillermo, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (adrian@servidor.unam.mx)

APARICIO MIJARES, Javier, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, (aparicio@tlaloc.imta.mx)

BOCCO VERDINELLI, Gerardo, Centro de Investigación de Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México (gbocco@oikos.unam.mx)

BURTON, Tony, Travel Consultant (tonyburton@mexconnect.com)

CAIKI MARTÍNEZ, Georgina, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (gcaire@ine.gob.mx)

CARDONA CARLIN, Nayeli, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (ncardona@ine.gob.mx)

CEBALLOS, Gerardo, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (gceballo@miranda.ecologia.unam.mx)

COTLER ÁVALOS, Helena, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (hcotler@ine.gob.mx)

DE ANDA SANCHEZ, José, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (Centro CONACYT) (janda@cencar.udg.mx)

DÍAZ PARDO, Edmundo, Facultad de Ciencias Naturales, Biología, Universidad Autónoma de Querétaro (ediazp@uaq.mx)

DOMÍNGUEZ MARIANI, Eloisa, Instituto Potosino de Investigación Ciencia y Tecnología (edominguez@titan.ipicyt.edu.mx)

ENRÍQUEZ GUADARRAMA, Carlos, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (cenrique@ine.gob.mx)

ESCAMILLA HERRERA, Irma, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (ich@igiris.geograf.unam.mx)

ESCOLERO PUENTES, Óscar, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (escolero@geologia.unam.mx)

ESQUIVEL ESQUIVEL, Nora, Dirección de Ordenamiento Ecológico, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (nesquive@ine.gob.mx)

ECURRA, Exequiel, Museo de Historia Natural de San Diego (Estados Unidos) (eezurra@sdsnhm.org)

FREGOSO DOMÍNGUEZ, Alejandra, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (fregoso@ine.gob.mx)

GARCÍA CARRERA, Jesús, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Comisión Nacional del Agua (jesus.garcaca@ena.gob.mx)

GARCÍA COBOS, Aidalee, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco

GARRIDO PÉREZ, Arturo, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (agarrido@ine.gob)

GUTIÉRIZ, Alberto, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (aguitron@tlaloc.imta.mx)

HANSEN, Anne M., Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (ahansen@tlaloc.imta.mx)

HERNÁNDEZ ARCE, Cipriana, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (transversalidad@tlaloc.imta.mx)

INFANTE RAMÍREZ, Karla Diana, Departamento del Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco

LIMA, Alberto Jorge, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (limoncitoazul@hotmail.com)

LIST SANCHEZ, Rurik, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (rlist@miranda.ecologia.unam.mx)

LOBATO SANCHEZ, René, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (lobato@tlaloc.imta.mx)

LÓPEZ GRANADOS, Erna, Centro de Investigación de Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México (erna@oikos.unam.mx)

LÓPEZ HERNÁNDEZ, Martín, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México (martin@icmyl.unam.mx)

LÓPEZ LÓPEZ, Eugenia, Laboratorio de Ictiología y Limnología, Instituto Politécnico Nacional (elopez@enchi.ipn.mx)

LÓPEZ VIDAL, Yolanda, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México (lvidal@servidor.unam.mx)

MARTÍNEZ EDDA, Sandra, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México (seddam2002@yahoo.com.mx)

MAZARI HIRLAET, Marisa, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (mazari@servidor.unam.mx)

MEJÍA MARAVILLA, Enrique, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Comisión Nacional del Agua (enrique.mejia@cna.gob.mx)

MENDOZA CANTÚ, Manuel, Instituto de Geografía Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México (mendoza@igiris.igeograf.unam.mx)

MIRAMONTES NAVARRO, Javier, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Comisión Nacional del Agua (javier.viramontes@cna.gob.mx)

MOLINA SEGURA, Carolina, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Comisión Nacional del Agua (carolina.molina@cna.gob.mx)

OSIGUERA GREEN, Víctor, Sub-Gerente Regional de Programación, Región Lerma-Santiago-Pacífico, Comisión Nacional del Agua (voseguera@grsp.cna.gob.mx)

OTERO LÓPEZ, Martha Leticia, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Comisión Nacional del Agua (martha.otero@cna.gob.mx)

PACHECO RODRÍGUEZ, Jesús, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (jpacheco@miranda.ecologia.unam.mx)

PLADEYRA S.C., Planeación, Desarrollo y Recuperación Ambiental S.C., Xalapa, Veracruz

PÉREZ CAMPUZANO, Enrique, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (enriqueperez@hotmail.com)

PÉREZ MÉRIDA, Juana, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco

PÉREZ ORTIZ, Gustavo, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (singurata@correo.unam.mx)

PINEDA LÓPEZ, Raúl, Facultad de Ciencias Naturales, Biología, Universidad Autónoma de Querétaro (rfpineda@sunserver.dsi.uaq.mx)

RAMOS ESPINOSA, María Guadalupe, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco (mgramos@correo.uam.mx)

ROSALES CRISTERNA, Fernando, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Comisión Nacional del Agua (fernando.rosales@cna.gob.mx)

ROJAS GARCÍA, José Alfredo, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Comisión Nacional del Agua (jose.rojas@cna.gob.mx)

SALAZAR CERDA, Irma, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (isalazar@uamex.mx)

SANTOS BARBERA, Georgina, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (gsantos@miranda.ecologia.unam.mx)

SANTOS CERQUEIRA, Clemencia, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (csantos@igg.unam.mx)

SEDESÑO DÍAZ, Jacinto Elías, Laboratorio de Ictiología y Limnología, Instituto Politécnico Nacional (jdiaz@enct.ipn.mx)

SHEAR, Harvey, Department of Geography, University of Toronto at Mississauga (hshear@utm.utoronto.ca)

SOTELO NUÑEZ, Esthela, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT (esotelo@ine.gob.mx)

URIBE LUNA, Jesús, Servicio Geológico Mexicano (juribe@coremigtm@gob.mx)

VALDÉS ALARCON, Manuel, Unidos para la Conservación, A.C. (maalarcmx@yahoo.com)

VARGAS VELÁZQUEZ, Sergio, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (svargas@tlaloc.inta.mx)

VÁZQUEZ MARTÍNEZ, Alicia, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, Comisión Nacional del Agua (alicia.vazquez@cna.gob.mx)

ZAMBRANO GONZÁLEZ, Luis, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (zambrano@biologia.unam.mx)

ZARCO ARISTA, Alba Esmeralda, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (alba31@correo.unam.mx)



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, A., ed., 2003, *Urbanización, cambio tecnológico y costo social. El caso de la región Centro de México*, Instituto de Geografía-UNAM, Miguel Ángel Porrúa, CONACYT, México.
- ALBERT, I.A. y J.A. Benitez, 2005, "Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros", en A. Botello, J. Rendón-Von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández eds., *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*, 2ª edición, Universidad Autónoma de Campeche-UNAM-Instituto Nacional de Ecología, pp. 157-176.
- ALLAN, J.D., 1995, *Stream Ecology. Structure and function of Running Waters*, Chapman & Hall, Inglaterra, 1995.
- APARICIO, J., 2001, "Hydrology of the Lerma-Chapala Watershed", en A.M. Hansen y M.V. Afferden, eds., *The Lerma-Chapala Watershed: Evaluation and Management*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, Estados Unidos.
- APHA, 1998, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 20ª ed., Washington, D.C., Estados Unidos.
- ARRIAGA, L., V. Aguilar y J. Alcocer, 2002, *Aguas continentales y diversidad biológica de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- ATMADJA, J. y A.C. Bagtzoglou, 2001, "Pollution Source Identification in Heterogeneous Porous Media", *Water Resources Research*, 37:2113-2125.
- AZUELA, A., 2001, "Una Torre de Babel para el Ajusto. Territorio, urbanización y medio ambiente en el discurso jurídico mexicano", en Martha Scheingart y Luciano d'Andrea (comps.), *Servicios urbanos, gestión local y medio ambiente*, El Colegio de México-CERFE, México.
- BASSOLS, A., 1983, *México: formación de regiones económicas. Influencias, factores y sistemas*, Instituto de Investigaciones Económicas-UNAM, México.
- BELLO, D., T. Sawidis e I. Tsokos, 2004, "Nutrient Chemistry of River Pinios (Thessalia, Greece)", *Environment International*, 30:105-115.
- BERNAL-BROOKS, F.W., L. Dávalos-Lind y O.T. Owen T. Lind, 2003, "Seasonal and Spatial Variation in Algal Growth Potential and Growth-Limiting Nutrients in a Shallow Endorheic Lake: Lake Patzcuaro (Mexico)", *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 8:83-93.
- BOCCO, G. y H. Cotler, 2004, "Soil Degradation and Conservation in Mexico", *Newsletter of the World Association of Soil & Water Conservation*, 20:8-9.
- BOEIM, R., 2002, "La sed saciada de la Ciudad de México: la nueva cuenca Lerma-Chapala-Santiago. Un ensayo metodológico de lectura cartográfica", *Relaciones* 80 (20), pp. 17-61.
- BOEIM, R., 2002, "El riego prehispánico en Michoacán", en M. Sánchez (coord.), *Entre campos de esmeralda. La agricultura de riego en Michoacán*, El Colegio de Michoacán, Gobierno del Estado de Michoacán, México, pp. 44-75.
- BOEIM, R., 2005, "Citadinos y campesinos en el Consejo de Cuenca Directa del lago de Chapala" en J.M. Durán, B. Boehm, M. Sánchez y A. Torres, eds., *Los estudios del agua en la cuenca Lerma-Chapala-Santiago II*, El Colegio de Michoacán y Universidad de Guadalajara, Zamora, Michoacán, México.
- BODALAO, A., W. Nilsumranhit y K. Chalermwat, 2001, "Water Quality and Uses of the Bangpakong River (Eastern Thailand)", *Water Research*, 35:3635-3642.
- BOYEN, D.R., E.A. Keller y I.W. Heathcote, 2005, *Environmental Science: Earth as a Living Planet*, John Wiley and Sons, Canadá.
- BROOKS, N.K., P. Follitt, H.M. Gregersen y F.L. DeBano, 1998, *Hydrology and the Management of Watersheds*, 2ª edición, Panima Publishing Co., Londres, Inglaterra.
- BUENO, S.J., J.B. López y C.M. Márquez, 1981, "Consideraciones preliminares sobre la ecología de los insectos acuáticos del río Lerma", *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, 8:175-192.
- BURNS, N.M., J.C. Rutherford y J.S. Clayton, 1999, "A Monitoring and Classification System for New Zealand Lakes and Reservoirs", *Journal of Lake and Reservoir Management*, 15:255-271.
- BURTON, T., 1991, "Can Mexico's Largest Lake be Saved?", *Ecodivision*, 23:68-71, Royal Society of Canada, Montreal, Canadá. (www.mexconnect.com/mex_travel/tonysartices/flagunasaved.html)
- , 1994, "Students study the local community", en *El Ojo del Lago*, periódico de Chapala-Ajijic, septiembre de 1994, Chapala, Jalisco, México.
- , 2004b, *El occidente de México: un tesoro para el viajero*, (traducción de: *Western Mexico: A Traveller's Treasury*, Sombrero Books, Canadá), Ajijic, Guadalajara, México.
- CAO, Y., A.W. Bark y W.P. Williams, 1996, "Measuring the Responses of Macroinvertebrate Communities to Water Pollution: a Comparison of Multivariate Approaches, Biotic and Diversity Indices", *Hydrobiologia*, 341:1-19, Kluwer Academic Publishers, Bélgica.
- CARABIAS, J., R. Landa, J. Collado y P. Martínez, 2005, *Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*, El Colegio de México-UNAM-Fundación Gonzalo Río Arronte, México.
- CARDONA, N., 2003, *Diseño de unidades de desarrollo socioeconómico regional: cuenca Lerma-Chapala*, reporte del Instituto Nacional de Ecología, México (www.inec.gob.mx)
- , 2004, "Definición del área de influencia y análisis de la dinámica socioeconómica de la cuenca Lerma-Chapala", *Gaceta Ecológica*, 11:39-53, Instituto Nacional de Ecología, México.
- CARMONA, María del Carmen, 1988, "Análisis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente", en *Alegatos 10*, Departamento de Derecho (UAM-Azacapatzaco), septiembre-diciembre, México.
- CARMONA, M., 2002, *Análisis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*, Departamento de Derecho, UAM-Azacapatzaco, México.
- CIBALLOS, G. y Brown J.H., 1995, "Global Patterns of Mammalian Diversity, Endemism and Endangerment", *Conservation Biology*, 9:559-568.
- CHAPLOT, V., G. Gilboire, P. Marchand y C. Valentin, 2005, "Dynamic Modelling for Linear Erosion Initiation and Development Under Climate and Land-use Changes in Northern Laos", *Catena*, 63:318-328.
- CISSMAN, B.C. y P.K. McEvoy, 1998, "Towards Diagnostic Biotic Indices for River Macroinvertebrates", *Hydrobiologia*, 364:169-182, Kluwer Academic Publishers, Bélgica.
- CIVITA, M.V. y M. DeMaio, 1997, "Assessing Groundwater Contamination Risk Using ArcInfo via GRID Function", en *Proceedings of ISST Conference*, San Diego, California, Estados Unidos.
- CNA, 1991, *Consejo de Cuenca Lerma-Chapala. Acuerdo de distribución de aguas superficiales para la cuenca Lerma-Chapala*, Comisión Nacional del Agua (CNA), México.
- , 1994, "Sistemas de tratamiento de aguas residuales usando lechos de hidrófitas (Wetland)", *Gaceta Lerma-Chapala*, Boletín Informativo del Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala, 1.
- , 1998, *Datos de calidad del agua en el lago de Chapala en 25 estaciones lavastas y nueve estaciones litólicas*, Gerencia Regional Lerma-Santiago, Centro de Estudios Limnológicos, Guadalajara, Jalisco, México.
- , 2002, *Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Región VIII Lerma Santiago Pacífico*, CNA, México.
- CONABIO, 1998, *La diversidad biológica de México: Estudio de país*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), México.
- CONAGUA, 2005a, *Registro Público de Derechos del Agua*, base de datos digital, Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), México.
- , 2005b, *Delimitación de Acuíferos*, Gerencia de Aguas Subterráneas, México.
- , 2005, *Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Agua Nacionales*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Comisión Nacional del Agua, México. (www.cna.gob.mx/cNA/Espanol/Default.aspx)
- CONAPO, 2001, *Índice de Desarrollo Humano 2000*, Colección de Índices Sociodemográficos, Consejo Nacional de Población (CONAPO), México.
- , 2001, *Índice de Marginación 2000*, Colección de Índices Sociodemográficos, México.
- , 2003, *Migración internacional*, en www.conapo.gob.mx.
- , 2006, *Población y principales características por entidad federativa*, documento en Excel, Anexo del Sexto Informe de Gobierno, México. (www.conapo.gob.mx)
- CONTRERAS, S., 2000, "Annotated Checklist of Introduced Invasive Fishes in Mexico", en Claudi y Leach, eds., *Nonindigenous Freshwater Organisms*, Lewis, New York, Estados Unidos.
- CORRAL, 1995, *Carta geológica minera y geoquímica F14-10, Querétaro, escala 1:250,000*, Consejo de Recursos Minerales (CORSEM), México.
- , 1997, *Carta geológica minera y geoquímica F14-7, Guanajuato, escala 1:250,000*, México.
- , 1998, *Carta geológica minera y geoquímica E14-1, Morelia, escala 1:250,000*, México.
- COTLER, H., A. Fregoso y J.L. Pérez, 2006, *Caracterización de los sistemas de producción en la cuenca Lerma-Chapala a escala regional*, p. 28. (www.inec.gob.mx)
- COTLER, H. y S. Gutiérrez, 2005, *Inventario y evaluación de las presas en la cuenca Lerma-Chapala*, Instituto Nacional de Ecología, México, 16 pp.
- COTLER, H., A. Priego, C. Rodríguez y C. Enríquez, 2004, "Determinación de zonas prioritarias para la eco-rehabilitación de la cuenca Lerma-Chapala", *Gaceta Ecológica* 71, Instituto Nacional de Ecología, México.
- CRESPO, J., 2001, *Fundamentos políticos de la rendición de cuentas*, Auditoría Superior de la Federación, Cámara de Diputados, LVII Legislatura, México.
- DE ANDA, J., S.E. Quiriones, R. French y M. Guzmán, 1998, "Hydrologic Balance of Lake Chapala (Mexico)", *Journal of the American Water Resources Association* (JAWRA), 34:1319-1331.
- , y H. Shear, 2001, "Nutrients and Eutrophication in the Lake Chapala Basin", en A.M. Hansen y M.V.

- Afferden eds., *The Lerma-Chapala Watershed: Evaluation and Management*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, Estados Unidos.
- , H. Shear, U. Maniak y G. Riedel, 2000, "Phosphorus Balance in Lake Chapala (Mexico)", *Journal of Great Lakes Research*, 26:129-140.
- , H. Shear, U. Maniak y G. Riedel, 2001, "Phosphates in Lake Chapala, Mexico", *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 6:313-321.
- , H. Shear, U. Maniak y P.F. Zárate-del Valle, 2004, "Solids Distribution in Lake Chapala, Mexico", *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 40:97-109.
- , H. Shear y J. L. Zavala, 2005, "Simplified Hydrologic Correlations to Forecast the Natural Regime of Lake Chapala", *Journal of Environmental Hydrology* 13:13.
- DE LA AZUELA, A., 2001, "Una Torre de Babel para el Ajusco. Territorio, urbanización y medio ambiente en el discurso jurídico mexicano", en M. Schteingart y L. d'Andrea, eds., *Servicios urbanos, gestión local y medio ambiente*, El Colegio de México, México.
- DOF, 1° de diciembre de 1992, última reforma aplicada a la LAN: "Publicada en el DOF el 29 de Abril de 2004, Diario Oficial de la Federación (DOF), México.
- , 1997, *Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (revisada por SEMARNAT, 2003) que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*, 6 de enero de 1997, México.
- , 2001, *Norma Oficial Mexicana-SEMARNAT-NOM-059-ECOL*, México, p. 35.
- , 12 de Enero de 1994, *Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales*, México.
- DGE, 1970, *IX Censo General de Población 1970*, Estado de Michoacán, Dirección General de Estadística (DGE), México.
- DÍAZ PARDO, E., M.A. Godínez Rodríguez, E. López López y E. Soto Galera, 1993, "Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México", *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 38(1-4):103-127.
- DINJUS, S.H. 1987, "Design of an Index of Water Quality", *Water Resources Bulletin*, 23:833-843.
- DIXON, J., A. Gulliver y D. Gibson, 2001, *Global Farming Systems Study: Challenges and Priorities to 2030*, IFO, Roma, Italia.
- DMCH, 2003, *Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la cuenca Lerma-Chapala*, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología. (www.ine.gob.mx/dgceec/cuencas/proyectos.html)
- DOODS, W.K., J.R. Jones y E.B. Welch, 1998, "Suggested Classification of Stream Trophic State: Distributions of Temperate Stream Types by Chlorophyll, Total Nitrogen and Phosphorus", *Water Research*, 32:1455-1462.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF), 1989, *Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89*, México.
- , 1996a, *Declaratoria de clasificación del río Lerma*, México.
- , 1996b, *norma-001-ecol-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*, México.
- , 2002, *Decreto por el cual se declara Área Natural Protegida, con el carácter de área de protección de flora y fauna, a la región conocida como Ciénegas del Lerma*, México.
- DOURJEANNI, A., 2005, "Si sabemos tanto sobre qué hacer en materia de gestión integrada del agua y cuencas ¿por qué no lo podemos hacer?" en H. Cotler, ed., *Manejo integral de cuencas en México*, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 135-172.
- DOURJEANNI, A. y A. Jouravlev, 2002, "Gestión de recursos por cuencas hidrográficas", en *Agua para las Américas en el Siglo XXI*, CNA, México.
- DOURJEANNI, A., A. Jouravlev y G. Chávez, 2002, *Gestión del agua a nivel de cuencas: Teoría y práctica*, CEPAL, Santiago de Chile.
- DOWNING, J.A., S.B. Watson y E. McCauly, 2001, "Predicting Cyanobacteria Dominance in Lakes", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 58:1905-1908.
- DUDGEON, D., 1992, "Endangered Ecosystems: a Review of the Conservation Status of Tropical Asian Rivers", *Hydrobiologia*, 248:167-191, Kluwer Academic Publishers, Bélgica.
- FAO, 1988, *WORLDWIDE Soil Map of the World, Revised Legend, with Corrections and Updates*, World Soil Resources Report 60, FAO, Roma, Italia.
- FUNDACION GOWARE DE MÉJICO A.C., 2003, *Polígonos de nivel socioeconómico general*, Instituto Nacional de Ecología. (www.ine.gob.mx/dgceec/cuencas/download/tipos_desarrollo_ncc.pdf)
- GARCÍA, C.A., 2005, "Actividades agrícolas y sus repercusiones sobre aguas y lodos de la cuenca Lerma-Chapala utilizando *Selenastrum capricornutum* como bioindicadores", informe final de Servicio Social Legal, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- GARCÍA, E., 1964, *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*, 4ª edición, Instituto de Geografía-UNAM, México.
- GERRA, C., 2000, "Indicator Microorganisms" en R. Maier, I. Pepper y C. Gerba, eds., *Environmental Microbiology*, Academic Press, San Diego, California, Estados Unidos, pp. 491-503.
- GHEITTI, P.F., 1986, "I macroinvertebrati nell'analisi di qualità dei corsi d'acqua", en M.J. y F.S. Toscani, eds., *Biological Assessment of Stream Water Quality (Theory, Application and Comparison Methods)*, Universidad de Ljubljana-Provincia Autónoma de Trento.
- GIUGALE, M.M., O. Lafourcade y V.H. Nguyen, 2001, "Water", en Mexico. *A Comprehensive Development Agenda for a New Era*, The International Bank for Reconstruction/The World Bank.
- GROOMBRIDGE, B. y M. Jenkins, 2002, *World Atlas of Biodiversity: Earth's Living Resources in the 21st Century*, University of California Press, Berkeley, California, Estados Unidos.
- GUEGUEN, K., 2005, "Organización administrativa y operativa de las unidades de pequeño riego que utilizan presas en la cuenca Lerma-Chapala", en E.M. Vargas S., ed., *Los retos del agua en la cuenca Lerma-Chapala*, IRD-DITA, México.
- GUITRON, A., E. Mollard y S. Vargas, 2003, "Models and Negotiations in Water Management", en *Modelling and Control for Participatory Planning and Managing Water Systems Conference*, IFAC Symposium, Venecia, Italia.
- GUZMAN, N.B. y S. Vargas, 2002, "Agricultura campesina en la gran irrigación: crisis y transformación socioeconómica en el sistema de riego Tepetitlán" en R. Bochin y J.M. Durán, eds., *Los estudios del agua en la cuenca Lerma-Chapala-Santiago*, El Colegio de Michoacán-Universidad de Guadalajara, Zamora, Michoacán, México.
- HANSEN, A.M. y M. Van Afferden, 2001, "Toxic Substances. Sources, Accumulation and Dynamics", en A.M. Hansen y M. Van Afferden, eds., *The Lerma-Chapala Watershed: Evaluation and Management*, Kluwer Academic/Plenum Press, New York, Estados Unidos, pp. 95-121.
- HANSEN, M., A. León-Zavala y L. Bravo-Inclán, 1995, "Fuentes de contaminación y acumulación de metales en la cuenca Lerma-Chapala", *Ingeniería Hidráulica en México*, X, 3:55-69.
- HAWKES, H.A. 1979, "Invertebrates as Indicators of River Water Quality", en A. James y L. Evison, eds., *Biological Indicators of Water Quality*, John Wiley & Sons, Inglaterra, pp. 1-45.
- HELSTRIN, S., 1949, "Reaction of Acetylcholine and Other Carboxylic Acids Derivates with Hydroxylamine and Its Analytical Application", *Journal of Biological Chemistry*, 180:249-261.
- HENRY, S., P. Boyle y E. F. Lambin, 2003, "Modelling Inter-provincial Migration in Burkina Faso, West Africa: The Role of Sociodemographic and Environmental Factors", *Applied Geography*, 23:115-136.
- HERREBIAS DIEGO, Y. y J. Benítez-Malvido, 2005, "Consecuencias de la fragmentación de los ecosistemas", en S.O., ed., *Temas sobre restauración ecológica*, Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish and Wildlife Service, Unidos para la Conservación A.C., México, pp. 113-126.
- HILSSBOCK, W.L., 1998, "Rapid Assessment of Organic Pollution with a Family Level Biotic Index", *Journal of North American Benthological Society*, 7:65-68.
- HOWARD, K.W.F. y K.K. Gebo, 2003, "Intensive Groundwater Use in Urban Areas: the Case of Megacities", en R. Llamas y E. Custodio, eds., *Intensive Use of Groundwater. Challenges and Opportunities*, Swets & Zeitlinger B.V. Lisse, Holanda, pp. 35-58.
- HUIZING, H., A. Farshad y K. de Bie, 1995, *Land Evaluation (Land Use System Evaluation)*, *Lecture Notes for the Land Evaluation and Land Utilization Program Module*, International Institute for Aerospace and Earth Sciences, Eschede, Holanda.
- HUNTER, M., 1999, "Biological diversity", en M. Hunter, ed., *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*, Cambridge University, Cambridge, Inglaterra.
- HYMAN, C., 1994, *Retirement and Tourism: Are Retirees Important to Tourism?*, presentación para la Secretaría de Turismo, México.
- IMTA, 2002, *Estudio Técnico para la Reglamentación de la Cuenca Lerma-Chapala*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Comisión Nacional del Agua-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- INE (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA), 2003a, *Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la cuenca Lerma-Chapala*, Instituto Nacional de Ecología, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Dirección de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, México.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA, 1990, *Integración Territorial*, México.
- , 1991, *XI Censo de población y vivienda 1990*, México, P. 51
- , 1994, *Sistemas de cuentas nacionales de México, III por entidad federativa 1993*, México.
- , 1995, *Espacio mapa Guadalajara*, hoja F13-12, México.
- , 1999, *Censos Económicos 1999*, México.
- , 2000, *Integración Territorial*, México.
- , 2000, *Sistema de cuentas nacionales de México, III por entidad federativa 1993-1999*, México.
- , 2000, *XII Censo de población y vivienda*, México.
- , 2001, *Marco Geoestadístico Municipal 2000*, México.
- , 2001, *XIII Censo General de Población y Vivienda*, 2000, México.

- , 2003, *Sistema Municipal de Bases de Datos (SMBAD)*, México.
- INSTITUTO DE GEOGRAFÍA, UI, SEMARNAT, 2002, *Inventario Nacional Forestal*, formato digital, México.
- JAY, J.A. y T.E. Ford, 2001, "Water Concentration, Bioaccumulation and Human Health Implications of Heavy Metals in Lake Chapala", en A.M. Hansen y M. Van Afferden, eds., *The Lerma-Chapala Watershed: Evaluation and Management*, Kluwer Academic/Plenum Press, Nueva York, Estados Unidos, pp. 123-136.
- JOUVE, P., 1988, "Quelques réflexions sur la spécificité et l'identification des systèmes agraires", *Les Cahiers de la Recherche Développement*, 20:5-16.
- KNOX, R.C. y L.W. Canter, 1996, "Prioritization of Ground Water Contaminants and Source Water", *Air and Soil Pollution*, 88:205-226.
- LAMONT, R., 1988, *Siete llaves para abrir un nuevo "tesoro turístico" en Guadalajara y alrededores*, American Chamber of Commerce, Guadalajara, México.
- LANTZ, J. y T. MacKenzie, 1979, "Atmospheric Trace Metals: Global Cycles and Assessments of Man's Impact", *Geochim Cosmochim.*, 43:511-525.
- LIND, O.T. y L.P. Dávalos Lind, 2001, "An Introduction to the Limnology of Lake Chapala, Jalisco, Mexico", en A.M. Hansen y M.V. Afferden, eds., *The Lerma-Chapala Watershed: Evaluation and Management*, Kluwer Academic/Plenum Press, Nueva York, Estados Unidos, pp. 139-149.
- LOBATO, R., 2006, *Extracto Rápido de Información Climatológica III (Erie III V1.0)*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.
- LÓPEZ, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velázquez y J.R. Aguirre Rivera, "Peasant Emigration and Land-use Change at the Watershed Level: A GIS-Based Approach in Central Mexico", *Agricultural Systems* (en prensa).
- LÓPEZ, H.M., 1997, *Caracterización limnológica del río Duero, Michoacán*, UNAM, México.
- LÓPEZ CASTRO, G., 1986, Presentación del libro en G. López Castro y S. Pardo Galván, eds., *Migración en el Occidente de México*, El Colegio de Michoacán, México.
- LYONS, J., A. Gutiérrez Hernández, E. Díaz Pardo, E. Soto Galera, M.M. Nava y R. Fineda López, 2000, "Development of a Preliminary Index of Biotic Integrity (IBI) Based on Fish Assemblages to Assess Ecosystem Condition in the Lakes of Central Mexico", *Hydrobiologia*, 418:57-72.
- MADEREY, R. y R. Carrillo, 2005, *El recurso de agua en México: Un análisis geográfico*, Instituto de Geografía UNAM, México.
- MADEREY, R. y R. Jiménez, 2000, "Alteración del ciclo hidrológico en la parte baja de la cuenca alta del río Lerma por la transferencia de agua a la Ciudad de México", *Boletín Instituto de Geografía*, 45:24-38, UNAM, México.
- MARASÓN, R. y P. Wester, 2000, *Respuestas institucionales para el manejo de los acuíferos en la cuenca Lerma-Chapala*, INRA, México.
- MASON, C.F., 1991, *Biology of Freshwater Pollution*, 2ª edición, Longman Scientific & Technical, Estados Unidos.
- MAZARI HILBERT, M., G. Cruz Bello, L.A. Bojórquez Tapia, L. Juárez Marusch, G. Alcantar López, L.E. Marín y E. Soto Galera, 2006, "Groundwater Vulnerability Assessment for Organic Compounds: Fuzzy Multicriteria Approach for Mexico City", *Environmental Management*, 37:410-421.
- MC CULLY, P., 2001, *Silenced Rivers. The Ecology and Politics of Large Dams*, Zed Books, Londres, Inglaterra.
- MERCADO SILVA, N., J. Lyons, E. Díaz Pardo, A. Gutiérrez Hernández, C. Pedraza Lara, C.P. Ornelas García y M.J. V. Zanden, 2006, "Long Term Variation in the Community of Fishes of the Laja River (Guanajuato, Mexico): an Example of the Decline of Fish Communities in Central Mexico", *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* 16(5): 533-546.
- MESTRE, E., 2001, "The Design of River Organizations in Mexico. The Example of Lerma-Chapala", en 5th River Basin Management Workshop, Banco Mundial, Washington D.C., Estados Unidos.
- MESTRE RODRÍGUEZ, E., 1994, "Gestión regional del agua en México. El caso de la cuenca Lerma-Chapala", en *Memorias del Seminario Franco Mexicano en Gestión Regional del Agua*, Guadalajara, Jalisco.
- , 1997, "Lerma-Chapala Basin, Mexico", en H. Richard y H. Ivanildo, eds., *Water Pollution Control. A Guide to the Use of Water Quality Management Principles*, E. & F. Spon WHE/UNIP.
- MITTEMEIER, R.A., F. Kolbes y C. Goetsch-Mittermeier, 1997, *Megalodiversidad. Los paisajes biológicamente más ricos del mundo*, CIMEX y Agrupación Sierra Madre, México.
- MOLLAID, E., M. Henry, A. Soquet y D. Tombrey, 2005, "Los distritos de riego de la cuenca Lerma-Chapala" en S. Vargas y E. Mollard, eds., *Los retos del agua en la cuenca Lerma-Chapala. Aportes para su estudio y discusión*, IRD-IMTA, Jiutepec, México, p. 247.
- MORALES IGLESIAS, H., 2006, *Evaluación de la heterogeneidad de los paisajes y su relación con la distribución de la biodiversidad en la cuenca Lerma-Chapala*, México, tesis de maestría, UNAM, México.
- MORA NAVARRO, M.R., 2004, *Fitoplancton del lago de Chapala*, Universidad de Guadalajara, México.
- MUSTOW, S.E., 2002, "Biological Monitoring in Rivers in Thailand: Use and Adaptation of the BMWF Score", *Hydrobiologia*, 479:191-229, Kluwer Academic Publishers, Bélgica.
- NIETO, S.F., A.S.A. Alaniz y H.G. Laharthe, 1997, "La deformación cenozoica post laramídica en la parte sur de la mesa central", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, V:13-25.
- OLDEMAN, L.R., 1988, *Guidelines for General Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation*, Working Paper 88/4, International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), Wageningen, Holanda.
- OMS/PNUMA, 2003, "Water Pollution Control. A Guide to the Use of Water Quality Management Principles", en U.N.E.P.W.S.S.C.C.W.H. Organization, Thomson Professional ed.
- ORTIZ JIMÉNEZ, M.A., J. de Anda y U. Maniak, 2006b, "Estimation of trophic States in Warm Tropical Lakes and Reservoirs of Latin America by Using GPSS Simulation", *Journal of Science and Technology of the Americas*, 31(5):345-350.
- ORTIZ JIMÉNEZ, M.A., J. de Anda y H. Shear, 2006a, "Nutrients/Food Chain Model for Lake Zapotlan (Mexico)", *Journal of River and Basin Management* 4(2):125-135.
- PASCARE, G., L. Covelli, L. Ferrari, V.H. Garduño, F. Innocenti, I. Israde, G. Masuoli, L. Pugliaro y L. Villari, 1991, "Geologic Map of Central Sector of Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacán", *Geological Society of America*, 1-20.
- PAYTON, J.R. y W. Eschmeyer, 2003, *Encyclopedia of Fishes: A Comprehensive Guide by International Experts*, Fog City Press, San Francisco, California, Estados Unidos.
- PÉREZ, M.J., 2005, *Efecto del agua y todos de la cuenca Lerma-Chapala sobre dos cultivos y su relación con actividades antropogénicas*, informe final de Servicio Social (equivalente a tesis de licenciatura), Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- PÉREZ VEGA, I., 2003, "El santuario olvidado del lago", en *Diario Público* (7 de marzo), Equilibrio Ecológico A.C. (<http://ecocoo.mx.tripod.com/ecocoo/id8.html>)
- PIERAUD, D., R. Jaunungá y A. Hayton, 1993, *Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario*, Ontario Ministry of Environment and Energy, Canadá.
- PINEDA LÓPEZ, R. Salgado Maldonado y Hernández Camacho, 2006, *Parásitos de peces. Diversidad biológica en ríos y arroyos del centro de México*, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- PLADEYRA, 2003, *Estudio de paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma-Chapala*, Instituto Nacional de Ecología, México.
- POSADA RAMOS, M., A. Hansen y V. Ortega Lara, 1994, *Enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala*, 4º Congreso Nacional de Geoquímica, Jiutepec, Morelos, México, pp. 151-158.
- PRETTY, J., 2002, "People, Livelihoods and Collective Action in Biodiversity Management" en T. O'Riordan and Stoll-Kleemann, eds., *Protected Biodiversity, Sustainability and Human Communities. Protecting Beyond the 2002*, Cambridge University, pp. 61-86.
- PRICE, M., 2003, *Agua subterránea*, Limusa Noriega, México.
- PRIGO SANTANDER, A., H. Coder, A. Fregoso, N. Luna y C. Enriquez, 2004, "Dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala", *Gaceta Ecológica*, 71:23-38.
- RAIL, C., 2000, *Contaminación, Sources and Hydrology*, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Pennsylvania, Estados Unidos.
- RICE RODRÍGUEZ, O., 2005, *Acciones de la Secretaría de Turismo para el desarrollo sustentable del turismo*, Secretaría de Turismo, México.
- RODRÍGUEZ, E.M., J.M. Monserat y O.A. Amin, 1992, "Chronic Toxicity of Ethil Parathion and Isobutoxytoluol Ester of 2,4-Dichlorophenoxyacetic to Estuarine Juveniles and Adults Crabs", *Archives Environmental Contamination and Toxicology*, 22:140-145.
- RODRÍGUEZ, C., N. Cardona y G. Caire, 2003, *Diagnóstico socio-económico de la cuenca Lerma-Chapala*, Instituto Nacional de Ecología, México. (www.inec.gob.mx/dgocoo/cuencaos/proyectos.html)
- ROSE, J.R. y D.J. Grimes, 2001, *Reevaluation of Microbial Water Quality. Powerful New Tools for Detection and Risk Assessment*, American Academy of Microbiology, Estados Unidos.
- RZEDORSKI, J. y G.C. Rzedowski, 1987, "El bosque tropical caducifolio de la región mexicana del Bajío", *Tracce*, 12.
- SALGADO MALDONADO, G., G. Cabañas Carranza, J.M.E. Soto Galera, S. Caspeta Mandujano, P. Moreno Navarrete, Sánchez Nava y R. Aguilar Aguilar, 2001, "A Checklist of Helminth Parasites of Freshwater Fishes from the Lerma-Santiago River Basin, Mexico", *Comparative Parasitology*, 68 (2):204-218.
- SANDEVAL, F. d. P., 1984, *Obras, sucesos y fantasías en el lago Chapala*, Gobierno de Jalisco, Secretaría General, Unidad Editorial, Guadalajara, México.
- SCOTT, T., J. Rose, T. Jenkins, S. Farrah y J. Lukasik, 2002, "Microbial Source Tracking: Current Methodology and Future Directions", *Microbiology*, 68.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, 2002, *Informe de la situación del medio ambiente en México*, México.
- , 2003, *Anuario Estadístico de Pesca*, México.
- SECTUR, 2006, "Implantación del Sistema de Indicadores de Sustentabilidad para el Turismo en 15 destinos", en *Desarrollo de un Modelo de Indicadores de Sustentabilidad*, Secretaría de Turismo (SECTUR).

- México. (www.sectur.gob.mx/wb2/sectur/wb2/sectur/sect_Modelo_Tip)
- SECTUR, 2006, *El sistema de indicadores de sustentabilidad para el turismo mexicano en 15 destinos*, Secretaría de Turismo, México.
- SEIDSL, CONAFO e INEGI, 2004, *Delimitación de las zonas metropolitanas de México*, México.
- SEIDLOCK, R.L. y G.F. Ortega, 1996, *Tectonostratigraphy Terranes and Tectonic Evolution of Mexico*, USAM-University of Illinois.
- SEMAENAT-COLEGIO DE POSGRADUADOS, 2002, *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000*, México.
- SEIAK, H. y J. de Anda, 2005, "Phosphorus and Eutrophication in a Sub-Tropical Basin: Lake Chapala-Mexico", en M. V. Reddy, ed., *Restoration and Management of Tropical Eutrophic Lakes*, Science Publishers Inc., Estados Unidos, pp. 77-95.
- SHEN, J.P., D.K. Ryan, y T.E. Ford, 1998, "Annual Cycle of Heavy Metals in a Tropical Lake-Lake Chapala", *Environ Sci Health*, A33:23-43.
- SIEM, 2003, "Estadísticas municipales", en Sistema de Información Empresarial Mexicano, México. (www.siem.gob.mx/portalsiem/)
- SILVA, P. y S. Vargas, 2005, "Unidades de riego en la cuenca Lerma-Chapala", en S. Vargas y E. Mollard, eds., *Los retos del agua en la cuenca Lerma-Chapala. Aportes para su estudio y discusión*, IED-IMTA, Jiutepec, México.
- SIN FRONTERAS, 2002, *Migración y refugio*, México. (www.sinfronteras.org.mx)
- SINHIC, 2002, *Sistema de Información Hidroagrícola de Distritos de Riego*, Comisión Nacional del Agua, México.
- SNEIDER, T., B. Biggs y M. Weatherhead, 2004, "Nutrient Concentration Criteria and Characterization of Patterns in Trophic State for Rivers in Heterogeneous Landscapes", *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 40:1-13.
- SOTELO, E., N. Cardona, A. Fregoso, C. Enriquez, A. Garrido, G. Caire y H. Cotler, 2006, *Zonas prioritarias estratégicas para la recuperación de la cuenca Lerma-Chapala*, Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas, Instituto Nacional de Ecología, México.
- SOYO GALERA, E., E. Díaz Parlo, E. López López y J. Lyons, 1998, "Fish as Indicators of Environmental Quality in the Río Lerma Basin, Mexico", *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 1:267-276.
- SUH, 1973, *Boletín Hidrológico*, núm. 50, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.
- ŠTAMBUK-GILJANOVIĆ, N., 2003, "Comparison of Dalmatian Water Evaluation Indices", *Water Environment Research*, 75.
- STEPHENNE, N. y E.F. Lambin, 2001, "A Dynamic Simulation Model of Land-Use Changes in Sudano-sahelian Countries of Africa (SALU)", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85:145-161.
- TALAVIERA SALGADO, F., 1982, *Lago Chapala, turismo residencial y campesinado*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- TAPIA, M., y L. Zambrano, 2003, "From Aquaculture to Real Social and Ecological Impacts: Carp Introduction in Rural Central Mexico", *Ambio*, 32(4):252-257.
- THANI, N.C. y A. Biswas, 1990, *Environmentally Sound Water Management*, Oxford University, Nueva Delhi, India.
- THOMAS, R., M. Meybeck y A. Beim, 1992, "Lakes and Reservoirs" en D. Chapman, ed., *Water Quality Assessments*, Chapman.
- THORNE, R.S. y W.F. Williams, 1997, "The Response of Benthic Macroinvertebrates to Pollution in Developing Countries: a Multimetric System of Bioassessment", *Freshwater Biology*, 37:671-686.
- TOLEDO, V.M., 1988, "La diversidad biológica de México", *Ciencia y desarrollo*, 81:17-30.
- UNDEK, L., C. Ruiz y G. Garza, 1976, *El desarrollo urbano de México. Diagnóstico e implicaciones futuras*, El Colegio de México, México.
- USEPA, 2000, *Nutrient Criteria. Technical Guidance Manual. Rivers and Streams*, United States Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Water, Office of Science and Technology, Washington D.C., Estados Unidos. (www.epa.gov/waterscience/criteria/nutrient/guidance/rivers/frontcover.pdf)
- USGS, 2005, *El ciclo del agua*, United States Geological Survey (USGS), Estados Unidos. (<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>)
- VAN DER OOST, R., J. Beyer y N. Vermeulen, 2003, "Fish Bioaccumulation and Biomarkers in Environmental Risk Assessment: a Review", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13(2): 57-149.
- VARGAS, S. y E. Mollard, 2005, *Problemas socio-ambientales y experiencias organizativas en las cuencas de México*, IED-IMTA, Jiutepec, México.
- VAZQUEZ GUTIERREZ, X., 1994, "Desarrollo urbano e industrial de las cuencas en México", *Gaceta del Lerma. Boletín informativo del Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala*, número especial.
- VILAZQUEZ DURAN, R., 1998, *Fisiología en relación a paleo-ambientes de los últimos 35,000 años en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán, México*, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- VILASQUEZ, A.M., L.J. Pimentel y J. Palerm, 2002, "Entarriamiento en cajas de agua en el valle zamorano: una visión agronómica", en M. Sánchez, coord., *Entre campos de esmeralda. La agricultura de viño en Michoacán*, El Colegio de Michoacán, Gobierno del Estado de Michoacán, México, pp. 261-273.
- WEBER, C.I., 1973, "Biological Field and Laboratory Methods for Measuring the Quality of Surface Waters and Effluents", *Biological Methods*, USEPA-EPA-670/4-73-001.
- WELCH, E.B. y J.M. Jacoby, 2004, *Pollutant Effects in Freshwater*, Taylor & Francis, Londres, Inglaterra.
- WESTER, P., S. Vargas y E. Mollard, 2004, "Negociación y conflicto por el agua Superficial en la cuenca Lerma-Chapala: actores, estrategias, alternativas y perspectivas (1990-2004)", en *III Encuentro de Investigadores del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago: Agricultura, industria y ciudad. Pasado y presente*, El Colegio de Michoacán-Universidad de Guadalajara, México.
- WILKIN, L.F., 1975, "Biological Indicators of Pollution", en B.A. Whitton, ed., *River Ecology*, University of California Press, Berkeley, California, Estados Unidos, pp. 375-402.
- WILSON, J., C. Milton 1950, *A Mineralogical Study of the Guanajuato, Mexico, Silver-gold Ores*, US Geological Survey Open-File Report, Open-File Report:15-70, Estados Unidos.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2004, *Water and Sanitation. Guidelines for Drinking Water Quality*, 3ª ed. Ginebra, Suiza.
- ZINCK, A., 1988, *Soil Survey Courses. Physiography and Soils Lecture Notes*, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Holanda.



ATLAS

DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA
construyendo una visión conjunta

se terminó de imprimir en octubre de 2006
en los talleres de Delmo Producciones S.A. de C.V.
el tiraje fue de 600 ejemplares.