

LAS CUENCAS

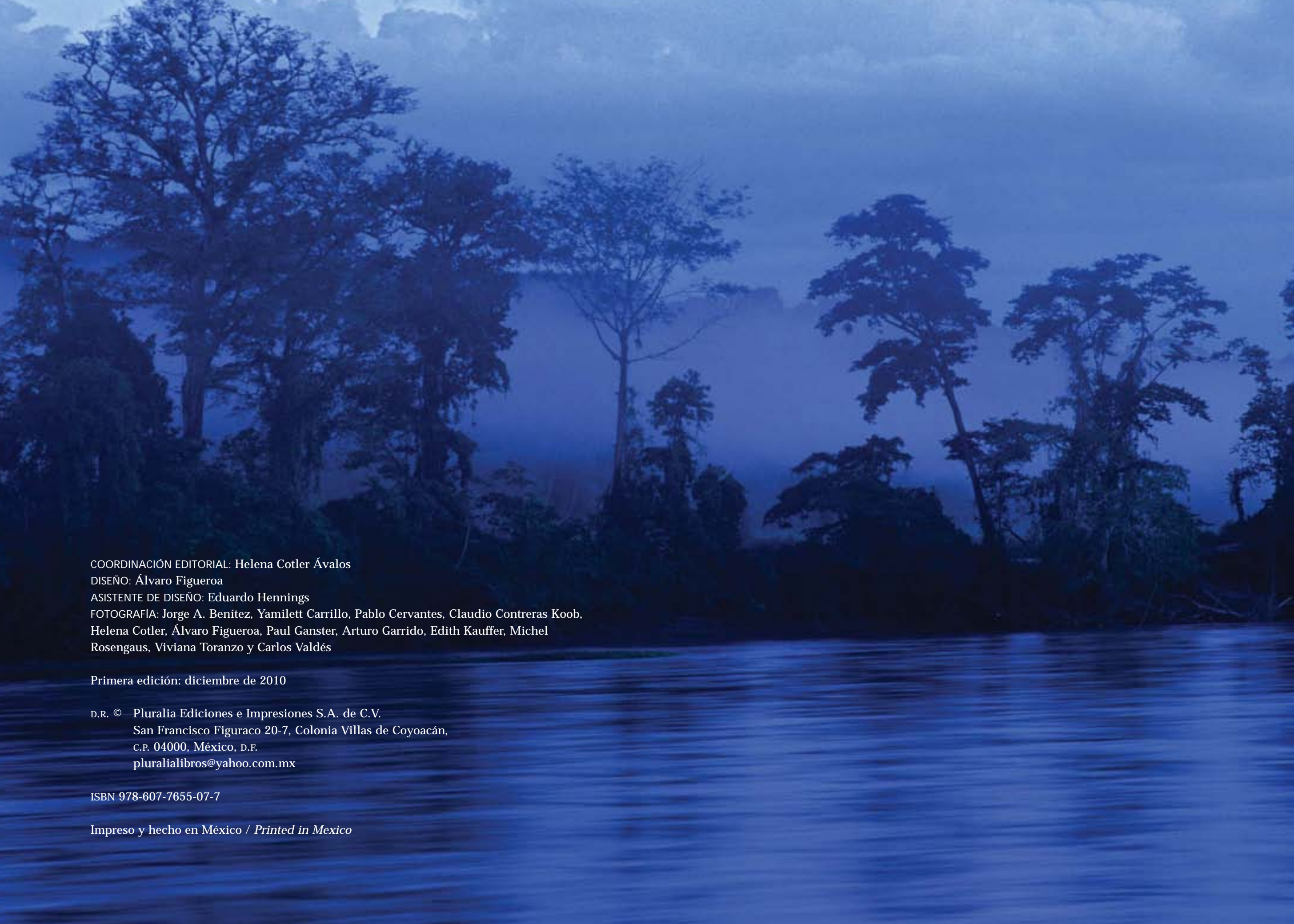
HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO

DIAGNÓSTICO Y PRIORIZACIÓN

Helena Cotler Ávalos
coordinadora

edición y diseño cartográfico:
Arturo Garrido Pérez
Noemí Luna González
Carlos Enríquez Guadarrama
María Luisa Cuevas Fernández





COORDINACIÓN EDITORIAL: Helena Cotler Ávalos
DISEÑO: Álvaro Figueroa
ASISTENTE DE DISEÑO: Eduardo Hennings
FOTOGRAFÍA: Jorge A. Benítez, Yamilett Carrillo, Pablo Cervantes, Claudio Contreras Koob,
Helena Cotler, Álvaro Figueroa, Paul Ganster, Arturo Garrido, Edith Kauffer, Michel
Rosengaus, Viviana Toranzo y Carlos Valdés

Primera edición: diciembre de 2010

D.R. © Pluralia Ediciones e Impresiones S.A. de C.V.
San Francisco Figuraco 20-7, Colonia Villas de Coyoacán,
C.P. 04000, México, D.F.
pluralialibros@yahoo.com.mx

ISBN 978-607-7655-07-7

Impreso y hecho en México / *Printed in Mexico*

ÍNDICE

PERSPECTIVAS SOBRE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO: INTRODUCCIÓN / 4

UNO ARREGLOS METODOLÓGICOS PARA EL ANÁLISIS INTEGRADO DE CUENCAS / 8

Regionalización de las cuencas
hidrográficas de México / 10

Delimitación de las zonas funcionales de
las cuencas hidrográficas de México / 14

Asignación de municipios a las cuencas
hidrográficas de México / 18

DOS CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS / 22

Clasificación ecogeográfica de cuencas
hidrográficas: el caso de México / 25

Variabilidad climática y sus efectos sobre
las cuencas de México / 28

Impacto de los ciclones tropicales en las
cuencas de México / 32

Peligros geológico-geomorfológicos en
cuencas hidrográficas / 38

ESTUDIO DE CASO: Inundación de Tabasco
en noviembre 2007 / 44

La disponibilidad natural de agua en las
cuencas de México / 46

Estado actual de la vegetación en las
cuencas de México / 50

DINÁMICA POBLACIONAL / 59

Población por cuenca y zona funcional / 60
Urbanización / 64

Marginación socioeconómica en las
cuencas hidrográficas / 68

Migración intercuenas / 74

ACTIVIDADES ECONÓMICAS / 77

Orientación sectorial / 79

Productividad sectorial / 83

TRES DIAGNÓSTICO SOCIO-AMBIENTAL / 86

La presión hídrica en las cuencas
de México / 88

El estado de saneamiento en las
cuencas de México / 92

Procesos de cambio de uso de suelo y
degradación de la vegetación natural / 96

Degradación de suelos en las cuencas
hidrográficas de México / 104

El estado de alteración ecohidrológica de
los ríos de México / 108

Riesgo potencial de las actividades del
sector económico sobre la biodiversidad y
la salud humana / 112

Contaminación potencial difusa por
actividad agrícola / 120

Sedimentación potencial de presas / 124

Mortalidad por enfermedades diarreicas en
cuencas hidrográficas/ 128

Vulnerabilidad de la población frente
a inundaciones e inestabilidad
de laderas / 132

Proyecciones de cambio climático para las
cuencas de México/ 138

Las cuencas de México y su biodiversidad:
una visión integral de las prioridades de
conservación / 142

Conflictos socioambientales y deterioro:
una primera aproximación / 154

Instrumentos de política pública e
iniciativas de acción social / 157

CUATRO INTERACCIÓN TERRESTRE- COSTERA-MARINA / 162

Impacto potencial de las aguas
continentales en la zona costera de
México / 165

CINCO CUENCAS FRONTERIZAS / 170

Cuenca transfronteriza del río
Bravo/Grande / 173

Cuenca binacional del río Colorado / 180

La cuenca binacional del río Tijuana / 188

La cuenca del río Usumacinta: perfil
y perspectivas para su conservación y
desarrollo sustentable / 193

La cuenca del río Suchiate: entre
inundaciones y movilidad de la frontera
México-Guatemala / 198

La cuenca del río Coatán: entre
inundaciones y escasez, un escenario
complejo para la cooperación México-
Guatemala / 201

Situación actual de las cuencas de los ríos
Candelaria y Hondo / 203

LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO: PRIORIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES / 210

BIBLIOGRAFÍA / 216

LISTA DE PARTICIPANTES / 231

PERSPECTIVAS SOBRE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO: INTRODUCCIÓN

HELENA COTLER

LA MANERA COMO PERCIBIMOS nuestro país como ciudadanos, tomadores de decisión o investigadores, tiene un impacto directo y profundo de cómo planteamos y atendemos sus problemas y soluciones. Usualmente el país lo reconocemos a través de fronteras imaginadas, lo hemos visto a través del lente administrativo (estados, municipios) o bien a través de unidades ambientales, que expresan una o algunas características del paisaje (unidades fisiográficas, regiones ecológicas). Pocas veces hemos volteado a ver a México a través de aquellos elementos que más que dividirlo, lo unen. Uno de ellos, son los ríos que fluyen desde las montañas y mesetas, entrelazan valles con costas, transportando nutrientes, compuestos orgánicos que alimentan planicies y deltas, espacios que han dando lugar a una próspera historia agrícola, a la vez que han mantenido abundantes ecosistemas. Cabe recordar que distintas civilizaciones en México se han establecido, prosperado y muchas veces decaído alrededor de cuerpos de agua, ríos y lagos, y sus territorios, en conjunto, las cuencas hidrográficas.

Las cuencas constituyen un complejo mosaico de ecosistemas, naturales y manejados, donde se reconocen los vínculos entre los territorios de las zonas altas y bajas, cuyas externalidades, transportadas por los cursos de agua, crean una conexión física entre poblaciones alejadas unas de otras.

Los territorios de las cuencas otorgan bienes y servicios ambientales invaluable para nuestra existencia como son el suministro de agua dulce, la regulación del caudal de los ríos, el mantenimiento de los regímenes hidrológicos naturales, la regulación de la erosión o la respuesta a eventos naturales extremos, entre otros (Balvanera y Cotler, 2009).

La pertinencia de entender y gestionar el territorio a través de sus cuencas motivó a algunos países a definir sus límites de acorde a ellas (Nueva Zelanda: Pyle *et al.*, 2007); a considerar necesario priorizarlas para planear actividades agrícolas (Australia: Walker *et al.*, 2002), para decidir pagos por servicios ambientales (Bolivia: Müller, s/f), y también a utilizarlas como unidades de gestión para establecer soluciones integrales a problemas ambientales (Estados Unidos: National Academy of Sciences, 1999).

En México, la primera delimitación de las cuencas hidrográficas fue establecida por Antonio García Cubas, durante los años turbulentos previos a la Revolución (mapa adjunto), posteriormente siguieron diversos esfuerzos institucionales para delimitar, cada vez con más exactitud, estas unidades hidrográficas. A algunas de estas cuencas se les adjudicaron, desde mediados del siglo pasado, organizaciones *ad hoc* para su gestión (Mollard y Vargas, 2005). Finalmente, en el 2007 se generó un primer mapa consensuado de cuencas hidrográficas entre tres instituciones gubernamentales (INEGI-INE-CONAGUA, 2007).

Sin embargo, en México, los estudios han abordado otros límites territoriales. Algunos se han centrado especialmente en los ecosistemas, generando en los últimos años importantes y exhaustivos análisis sobre las causas de su deterioro, el estado y las tendencias de los servicios ecosistémicos y recomendaciones de política pública (CONABIO, 2009). Asimismo varios documentos señalan las áreas, regiones, ecosistemas o estados donde se manifiestan los principales problemas ambientales (SEMARNAT, 2008; Coll-Hurtado, 2007). Con anterioridad el Programa Nacional de Medio Ambiente

y Recursos Naturales 2001-2006 (SEMARNAT, 2001) identificó “cuencas hidrológicas prioritarias” basándose en las unidades reconocidas por la CONAGUA en 1998 (citado en Carabias y Landa, 2005: 51). Por otro lado, considerando la biodiversidad marina y epicontinental, la CONABIO identificó 111 regiones hidrológicas prioritarias, considerando como unidad de análisis a las cuencas hidrológicas (Arriaga *et al.*, 2000).

Teniendo en mente estos antecedentes, el propósito de este proyecto es ofrecer un panorama geográfico general de las principales condiciones socio-ambientales de las cuencas, buscando con ello (i) Identificar interacciones y repercusiones de las actividades socio-económicas sobre la integridad ecológica de las cuencas y (ii) Priorizar cuencas hidrográficas, en función de temas relevantes, para apoyar el diseño y el mejoramiento de la política ambiental del país.

Para capturar la compleja situación ambiental, social y económica de nuestras cuencas se eligieron variables e indicadores para expresar la situación de las 393 cuencas agrupadas (ver capítulo de *Regionalización*). Estos indicadores cumplen con ciertas características, como



su relevancia para la explicación de la condición funcional de las cuencas, la consistencia a nivel espacial (cobertura nacional) y temporal, la interpretación accesible, la confiabilidad de los datos —en el sentido que fueron contruidos con una metodología sólida y validada— y actualizados.

Bajo la perspectiva de la cuenca buscamos que los indicadores y variables utilizados destaquen (i) la relación entre la cuenca alta y la cuenca baja, en función de su dinámica y actividades; (ii) las conexiones entre los ecosistemas terrestres y los acuáticos y (iii) las modalidades de aprovechamiento y la generación de externalidades. Por ello, más que compilar todos los indicadores existentes hemos querido retomar aquellos que expresen el estado de la estructura y el funcionamiento de las cuencas hidrográficas.

La diversidad geológica y climática determina que nuestra unidad de análisis, las cuencas hidrográficas, presenten tamaños, formas y estructuras distintas, lo cual representa un reto adicional para la utilización y representación de indicadores. El análisis y la priorización de las cuencas se realizó a nivel regional, mediante una escala de análisis de 1:250,000 (y una escala de representación de 8,000,000), lo cual posibilita explorar de manera comparativa la situación entre cuencas. Cuando los datos se encontraban a nivel municipal, su representación se realizó a nivel de cuencas, a sabiendas que esta decisión implicaba una pérdida de exactitud en la interpretación. Mientras que cuando los datos se encontraban a nivel de localidad fue posible su representación a nivel de zona funcional.

A partir del análisis de la información presentada en este estudio, pueden surgir muchas preguntas particulares sobre determinada cuenca o tema. Las respuestas requerirán necesariamente de una mayor intensidad de datos y/o de una expresión distinta de éstos.

El presente libro se dividió en cinco apartados. En el primero, se presentan los arreglos

metodológicos que se realizaron para poder utilizar y adaptar la información ambiental y socio-económica a las cuencas, a través de la regionalización, la definición de sus zonas funcionales y de la asignación de municipios. En la segunda sección se presenta una caracterización ambiental, social y económica de estos territorios. La tercera sección, corresponde a un diagnóstico socio-ambiental, donde mediante indicadores y modelos, se presentan los impactos y externalidades generadas por las actividades antrópicas, originando conflictos socio-ambientales pero también propiciando instrumentos de política pública. En las cuencas que desembocan en los océanos y golfos, los impactos se extienden hacia los ecosistemas marinos, lo cual constituye el tema de la cuarta sección, donde se enfatiza en las interacciones terrestres-marinas. México comparte territorios de cuencas con países vecinos, por ello en el quinto apartado se analiza la situación ambiental, social y los procesos de gestión más relevantes de las cuencas fronterizas. Finalmente, se concluye exponiendo una mirada integral a la situación y perspectivas de las cuencas de México, priorizándolas por su grado de deterioro en su estructura y funcionamiento, y por el nivel de atención que

requieren, en términos de conservación, prevención o corrección.

Esperamos que esta nueva y distinta mirada al territorio nacional permita encontrar y proponer nuevas formas de estudio, de interpretación y de atención, gubernamental y social, que posibiliten un acercamiento diferenciado como territorios bio-culturales, cuyo aprovechamiento y conservación requiere necesariamente de una planeación por cuencas.

AGRADECIMIENTOS

El apoyo constante y decidido de la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. permitió contar con los recursos económicos suficientes para llevar a buen término este proyecto.

A lo largo de los últimos años se realizaron tres talleres de discusión que enriquecieron los indicadores y modelos que aquí se presentan, en ellos recibimos los comentarios de los doctores Rubén Cantú Chapa y Enrique Pérez Campusano (Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo-IPN); del Dr. José María Casado Izquierdo, el Dr. Armando García de León Loza y la Dra. María Inés Ortiz Álvarez (Instituto de Geografía, UNAM) en los temas sociales y económicos.

Asimismo se contó con los enriquecedores aportes del Dr. Raúl Francisco Pineda (Universidad Autónoma de Querétaro), el Dr. Antonio Lot Helgueras (Instituto de Biología, UNAM), el Dr. Manuel Mendoza (Centro de Investigación en Geografía Ambiental, UNAM), del Geog. Enrique Muñoz López y de la M. en C. Diana Hernández Robles (CONABIO); de la M. en C. Cecilia Blasco (Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza); del Dr. Manuel Maass Moreno y la Dra. Catherine Mathuriau (Centro de Investigación en Ecosistemas, UNAM) y del M. en C. Eric D. Gutiérrez López (CONAGUA), quienes discutieron y mejoraron el modelo de alteración eco-hidrológico, además de varios otros investigadores que también participaron en la elaboración de algunos capítulos.

Finalmente, para la revisión de varios textos contamos con la colaboración del Dr. Fernando Saavedra (FLACSO), la Dra. Marisa Mazari (Instituto de Ecología, UNAM), la Dra. Patricia Balvanera (Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM), el Dr. Álvaro Miranda (Fundación Ecológica de Cuixmala A.C.-Reserva de la Biósfera Chamela-Cuixmala), la Maestra Esthela Sotelo y el Dr. Carlos Javier Echarri Cánovas, ambos de El Colegio de México.



uno

ARREGLOS METODOLÓGICOS PARA EL ANÁLISIS INTEGRADO DE CUENCAS

LAS CONDICIONES OROGRÁFICAS Y CLIMÁTICAS del país han modelado las cuencas en una gran diversidad de tamaños y formas, dando lugar a sistemas hidrográficos tan complejos como la cuenca del río Bravo, o sencillos, como la cuenca del río Mexcalhuacán. Acercarse a las cuencas de México requiere entonces partir de un mínimo territorial donde se haga factible la perspectiva socioambiental; así la agrupación de cuencas pequeñas posibilita la regionalización, base de este análisis. Al interior de una cuenca, su funcionamiento ecohidrológico se entiende a partir de las relaciones intrínsecas entre usuarios y territorios, cuenca arriba y cuenca abajo, lo cual es abordado a partir de la delimitación de las zonas funcionales. Sin embargo, la coincidencia entre los parteaguas de las cuencas y los límites administrativos requiere de un arreglo metodológico mayor, como es la asignación de municipios a las mismas.



REGIONALIZACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO

MARÍA LUISA CUEVAS, ARTURO GARRIDO Y ESTHELA I. SOTELO



LA CUENCA ES RECONOCIDA como la unidad territorial más adecuada para la gestión integrada de los recursos hídricos, entre otras cosas, porque en ella los sistemas físicos y bióticos y el sistema socioeconómico son interdependientes y se encuentran interrelacionados (Dourojeanni *et al.*, 2002). De acuerdo con INEGI, INE Y CONAGUA (2007), el país cuenta con 1,471 cuencas, las cuales presentan una enorme variabilidad en tamaños: de miles a un kilómetro cuadrado.¹

Lo anterior, aunado a las evidentes discrepancias de los parteaguas con los límites político-administrativos, hizo evidente la necesidad de establecer criterios de regionalización de las cuencas hidrográficas, con el propósito de: 1) contar con un número manejable de unidades hidrográficas, que permitiera una mejor representación cartográfica de los fenómenos biofísicos analizados en el presente diagnóstico, y 2) contar con unidades hidrográficas con una dimensión que permitiera extrapolar los datos municipales y locales; esto con la finalidad de dar a la cuenca sentido de unidad regional y fortalecer esta figura como la unidad óptima de planeación y gestión de los recursos naturales (ver capítulo *Asignación de municipios*).

La agrupación de cuencas se basó en el concepto de región geográfica, entendiéndose ésta

como un espacio heterogéneo, dotado de unidad a causa de ciertas características, en este caso físicas, dominantes (George, 2004); bajo esta perspectiva y teniendo siempre en mente la escala y formato de representación cartográfica del presente proyecto (1:8,000,000), se procedió a agrupar a las cuencas a partir de ciertas características geográficas.

CRITERIOS PARA LA AGRUPACIÓN DE LAS CUENCAS:

- Cuencas contiguas (vecinas) cuya superficie individual es menor a 200 km² se unen en una sola entidad cuya superficie sume como área mínima 200 km² (que corresponde al área mínima cartografiable a esta escala).
- Si la suma de las superficies de dichas cuencas no alcanzara los 200 km², todas se agrupan con la cuenca contigua o circundante de mayor tamaño.
- Las barras costeras unidas o conectadas físicamente al continente quedan integradas a la cuenca con la que se relacionan espacialmente.
- Todas las cuencas agrupadas deben localizarse dentro de la misma región y subregión hidrológica de acuerdo a la delimitación establecida por la CONAGUA en su mapa de Subregiones Hidrológicas escala 1:4,000,000.
- Las cuencas por agruparse deben ubicarse



Figura 1. Representación de las cuencas sin modificación y cuencas regionalizadas.

también, en la misma provincia fisiográfica, de acuerdo al mapa de Provincias Fisiográficas de México escala 1:4,000,000 elaborado por la UNAM.

- Además, se agruparon cuencas cuyo tipo de drenaje y dirección preferencial fuese semejante. Para ello, se consultó la Red de Drenaje Superficial Ampliada escala 1:250,000 del INE.

CODIFICACIÓN DE LAS CUENCAS:

Con el fin de mantener organizado al nuevo conjunto de cuencas, se crearon dos códigos de referencia. La primera es una codificación jerárquicamente anidada basada en codificar secuencialmente los distintos niveles hidrológicos, empezando con las regiones y terminando en las cuencas. En los casos donde las

cuencas están en el límite entre dos regiones, éstas adoptaron el número de aquella en la que ocupaban mayor superficie.

Ejemplo: Cuenca: 06 A 15 arroyo El Salto

Un caso excepcional es la cuenca río Colorado, una extensa cuenca limítrofe entre los Estados Unidos de Norteamérica y México, con gran parte de su territorio en el país vecino. Debido a que su desembocadura y dos pequeñas porciones más, alejadas una de otra, se localizan en el país y considerando las condiciones socio-ambientales de cada porción, se decidió no modificar los tres polígonos que componen dicha cuenca, asignándoles a cada polígono las siguientes claves: 07A2a, 07A2b y 07A2c.

La segunda codificación retoma el mapa original de cuencas INEGI-INE-CONAGUA (2007), donde cada cuenca tiene las letras CH (Cuenca Hidrográfica) seguido de un número consecutivo, siguiendo un trazo Norte-Sur, Oeste-Este. Sabiendo la importancia de conservar la relación entre el mapa original y el regionalizado, se decidió conservar el código original para aquellas cuencas que no sufrieron modificaciones, mientras que a las cuencas agrupadas se les asignó un nuevo código, iniciando con las letras CR (Cuenca Regionalizada). Una vez más, la numeración respondió a la ubicación de los agrupados.

Como resultado de la regionalización de cuencas, el total de unidades a estudiar se redujo de 1,471 a únicamente 393. Es importante precisar que no todas las cuencas fueron regionalizadas; de las 1,471 cuencas, se mantuvo sin modificación un total de 228, mientras que 1,243, ya sea porque eran menores a 200 km² o bien porque a ellas se incorporaron cuencas de menor tamaño, sufrieron algún tipo de modificación. Las cuencas modificadas representan 84.5% del total de cuencas y ocupan el 11.5% del territorio nacional (ver Figura 1).

En la figura anterior, se puede apreciar que se mantuvieron sin modificación cuencas como Grijalva-Usumascinta, cuenca de

México, y las cuencas de los ríos Balsas, San Pedro, Yaqui, Papaloapan, y Pánuco, cuya importancia regional hídrica es indudable. En contraparte, las características geográficas de la península de Baja California y la costa sur del Océano Pacífico han formado gran cantidad de cuencas pequeñas, por lo que fueron las zonas con mayor número de agrupaciones.

La distribución del mapa regionalizado muestra un patrón espacial del territorio similar al mapa original de cuencas INEGI-INE-CONAGUA (2007), pues la mayoría de unidades tienen una superficie menor a 5,000 km² (ver MAPA).

En conclusión, la agrupación de cuencas permitió construir un mapa más manejable, facilitando —de acuerdo a la escala de representación definida— el manejo, análisis, y observación de patrones espaciales tanto biofísicos como socioeconómicos de todo el territorio. Esto se realizó teniendo siempre en mente que se ha sacrificado el nivel de detalle local con la finalidad de obtener una visión global que cumpla con las expectativas de investigación y análisis de un diagnóstico nacional.

¹ La cuenca del río Bravo tiene aproximadamente 222,500 km², mientras que la cuenca Caleta el Pando, en el estado de Sonora, tiene sólo un kilómetro cuadrado.

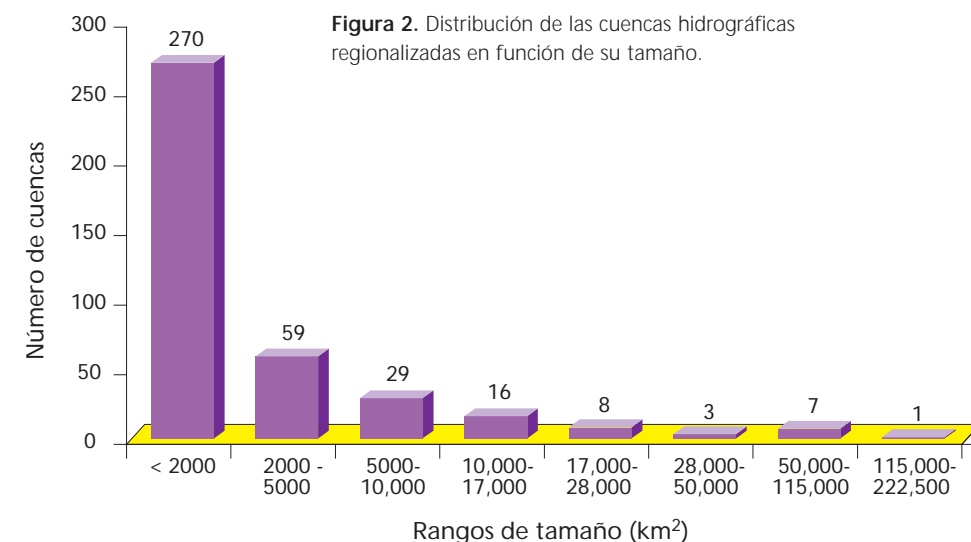


Figura 2. Distribución de las cuencas hidrográficas regionalizadas en función de su tamaño.

CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO*



RELACION DE CUENCAS HIDROGRAFICAS REGIONALIZADAS

ID CUENCA	NOMBRE DE LA CUENCA	SUPERFICIE (km ²)
1	Rio Tijuana	3,240
2	Arroyo El Descanso	689
3	Arroyo Guadalupe	2,504
4	Arroyo San Antonio	233
5	Punta Ensenada	298
6	Rio Mansadero	1,050
7	Arroyo El Zomito	1,021
8	Arroyo Santo Tomás	600
9	Cañada San Juan	377
10	Arroyo El Piquillo	1,930
11	Arroyo Salado	1,886
12	Arroyo San Rafael	1,357
13	Rio San Telmo	934
14	Arroyo Los Alisos	446
15	Arroyo San Antonio de Muñitos	1,268
16	Arroyo de La Escopeta	388
17	Bahía Falsa	320
18	Arroyo Agua Chiquita	223
19	Arroyo San Simón	1,668
20	Arroyo Agua de Tanco	276
21	Arroyo El Socorro	221
22	Arroyo Los Fustiques	320
23	Arroyo El Rosario	2,736
24	Arroyo Agua Blanca	223
25	Arroyo San Vicente	633
26	Arroyo San Fernando	1,777
27	Arroyo El Canasto	343
28	Arroyo Santa Catalina	895
29	Punta Camacho	300
30	Arroyo La Bocana	1,209
31	Arroyo Lázaro	210
32	Arroyo El Cuervo	865
33	Arroyo La Rinconada	706
34	Arroyo La Pintada	568
35	Arroyo El Saiz	563
36	Arroyo La Boca del Carrizo	439
37	Arroyo Los Ochos	523
38	Arroyo Yubay	2,011
39	Arroyo Santo Dominiquito	392
40	Arroyo Rosario	953
41	Arroyo San Javier	607
42	Arroyo Conal Blanco	312
43	Arroyo Paraiso	1,209
44	Arroyo La Vuelta	586
45	Arroyo La Rabia	592
46	Salinas Guerrero Negro	9,233
47	Arroyo Frio	2,509
48	Arroyo San José	289
49	Arroyo El Varadero	398
50	Arroyo El Indio	391
51	Arroyo Silvano	934
52	Arroyo Los Locos	281
53	Arroyo Campo Nuevo	564
54	Arroyo La Salinita	341
55	Punta San Hipólito	658
56	Arroyo Los Lentiscos	1,029
57	Laguna San Ignacio	6,556
58	Arroyo Todos Santos	492
59	Arroyo El Cuarenta	1,249
60	Estero El Dátil	208
61	Arroyo San José de Gracia	992
62	Arroyo San Raymundo	875
63	Arroyo San Martín	1,037
64	Arroyo Trinaja de Villegas	423
65	Arroyo El Mezquite	561
66	Rio La Purísima	2,742
67	Arroyo El Pabelón	677
68	Arroyo Comond	961
69	Arroyo San Venancio	1,066
70	Estero Santo Domingo	4,753
71	Arroyo Las Brancas	4,584
72	Estero El Chiquete	928
73	Arroyo Vizcainas	2,307
74	Arroyo Santa Rita	2,181
75	Arroyo Las Pootas	2,361
76	Boca Guadalupe	2,106
77	Arroyo El Carrizal	1,217
78	Arroyo de La Muña	1,801
79	Arroyo Migrino	339

ID CUENCA	NOMBRE DE LA CUENCA	SUPERFICIE (km ²)
80	Lago Salada	6,228
81	Arroyo El Arraial	2,029
82	Arroyo Tarasno	1,847
83	Arroyo Las Amarillas	1,591
84	Arroyo Huastamote-Parral	1,429
85	Arroyo Matoni	1,958
86	Arroyo Zamora	810
87	Arroyo Santa María	1,035
88	Arroyo Calamaue	975
89	Arroyo La Asamblea	926
90	Arroyo Mesa de Yubay	556
91	Arroyo El Tepetate	494
92	Arroyo La Gobernadora	681
93	Arroyo Los Paredones	1,213
94	Arroyo La Pala	849
95	Arroyo El Infernito	474
96	Arroyo Los Monjes	2,409
97	Arroyo San José Magdalena	1,829
98	Arroyo El Ring	539
99	Arroyo Mulagel	679
100	Arroyo Cadete	861
101	Arroyo San Nicolás	569
102	Arroyo San Juanico	314
103	Arroyo San Juan	630
104	Arroyo Las Pargas	760
105	Arroyo Timbabiachi	622
106	Arroyo El Cañón	942
107	Arroyo El Novillo	842
108	Arroyo Tamales	353
109	Arroyo El Cañoncito	285
110	Arroyo Agua de Vázquez	239
111	Arroyo Agua Fria	1,074
112	Arroyo El Rujadero	1,798
113	Arroyo La Laguna	589
114	Arroyo El Baño	467
115	Arroyo El Pevoto	1,216
116	Arroyo Agua Grande	732
117	Rio Colorado	14,547
118	Rio Sonoyta	7,802
119	Bahía San Jorge	1,579
120	Rio Sonora	25,807
121	Rio Asunción	3,843
122	Arroyo Victoria	3,494
123	Arroyo Los Huertanos	1,887
124	Arroyo El Julio	754
125	Arroyo El Dátil	1,332
126	Arroyo San Ignacio	3,188
127	Arroyo La Corva	342
128	Arroyo La Nopalera	488
129	Rio Sonora	27,978
130	Arroyo Los Anegados	342
131	Arroyo El Cuervo	963
132	Rio Matape	6,606
133	Arroyo Camp Prieto	622
134	Arroyo El Carrizo	579
135	Arroyo Bacerán	243
136	Rio Yagui	74,668
137	Rio Mayo	15,113
138	Arroyo Mulabampo	389
139	Arroyo Bacoachi	10,849
140	Arroyo Masiaca	1,323
141	Arroyo Aglabampo	1,139
142	Rio Fuerte	36,126
143	Estero La Inicial	763
144	Bahía Ohuira	1,339
145	Estero Cobui	1,259
146	Rio Sinaloa	13,152
147	Estero Batamotos	1,329
148	Rio Evora	2,458
149	Rio Culiacán	18,624
150	Rio San Lorenzo	9,983
151	Rio Elota	2,365
152	Rio Paxta	6,964
153	Arroyo El Venadito	701
154	Arroyo Los Arroyales	481
155	Arroyo Potencillo	580
156	Arroyo El Sombrerete	442
157	Arroyo Puente de Hierro	1,273
158	Rio Pericos	2,671

ID CUENCA	NOMBRE DE LA CUENCA	SUPERFICIE (km ²)
161	Rio Presido	6,693
162	Rio Babuane	5,260
163	Laguna Agua Grande	837
164	Rio Acaconeta	8,829
165	Lago de San Jacinto	2,455
166	Rio San Pedro	27,415
167	Lago de Cuizeo	3,828
168	Lerma Chapala	48,138
169	Lago de Patzcuaro	919
170	Arroyo Piedra Ancha	458
171	Lago Sayula	1,480
172	Lago Atotonilco	1,168
173	Arroyo Ipuhuachacolo	706
174	Rio Santiago	76,266
175	Rio El Paillo	513
176	Rio Itzacan	519
177	Rio Huicita	663
178	Rio Chila (Vajol)	582
179	Arroyo La Peñita	586
180	Rio Pastal	432
181	Rio Cuale	267
182	Rio Los Juntas	328
183	Rio El Tutto	445
184	Rio Ameca	12,632
185	Rio Tecolotán	390
186	Rio Ipala	437
187	Rio María García	463
188	Rio Tomatlán	2,118
189	Arroyo Maderos	389
190	Rio San Nicolás	2,329
191	Arroyo Chamela	366
192	Rio Cutzamán	1,122
193	Rio Purificación	1,607
194	Arroyo El Pedregal	317
195	Rio Marabasco	2,540
196	Arroyo Punta de Agua	380
197	Rio Coahuayana	7,288
198	Arroyo Las Pilas	299
199	Rio Armería	10,257
200	Arroyo La Salada	225
201	Rio Aguila	353
202	Rio Oshuta	558
203	Rio Cacabula	388
204	Rio Coahuacán	1,940
205	Rio Huahua	1,050
206	Rio Nexpa	1,668
207	Rio Mexcalhuacan	458
208	Rio Tzacano	894
209	Rio Popoyuta	403
210	Rio Campal de Arteaga	669
211	Rio Salado	4,727
212	Rio Balsas	112,036
213	Lago de Zirahuén	269
214	Rio Felizcano	586
215	Rio La Unión	1,218
216	Arroyo La Culebra	347
217	Arroyo Parilla	244
218	Rio Itapa	928
219	Lagunas El Potosí	247
220	Rio Petatlán	1,418
221	Arroyo El Sapo	230
222	Rio Coyuquilla	637
223	Rio San Luis	1,130
224	Rio Tezcan	1,807
225	Rio Atzacan	878
226	Laguna Mila	524
227	Rio Coyuca	1,664
228	Rio La Sabana	822
229	Rio Papadayo	7,554
230	Rio Cortés	380
231	Rio La Estancia	317
232	Rio El Recibimiento	269
233	Laguna Chautenop	1,664
234	Rio Copala	630
235	Rio Marquelia	1,325
236	Rio Quetzana	7,258
237	Laguna Tecamate	658
238	Rio La Arena	1,537
239	Rio Verde	18,569

ID CUENCA	NOMBRE DE LA CUENCA	SUPERFICIE (km ²)
240	Lagunas Chacahua-Pastoria	284
241	Rio Grande	589
242	Rio Maniáhuac	825
243	Rio Colotepec	1,849
244	Rio Valdeñones	206
245	Rio Cozacoatlán	494
246	Rio Tonameca	612
247	Rio Limón-Coyula	531
248	Arroyo Cuauiniquil	314
249	Rio Copalita	1,529
250	Rio Zimatán	723
251	Rio Ayula	272
252	Rio Tagaralita	257
253	Arroyo Huamelula	549
254	Arroyo Santa Clara	392
255	Rio Tenango	406
256	Rio Tehuantepec	10,461
257	Lagunas Quiro	235
258	Rio Los Perros	1,809
259	Arroyo Guichilona	593
260	Rio Chicapa	631
261	Rio Fajanta Perros	425
262	Rio Nihuepec	538
263	Rio Tamarrón	1,557
264	Estero Mar Muerto	642
265	Arroyo Las Minas	323
266	Arroyo Mata Hueyal	324
267	Rio Ponadero	387
268	Rio Lagartero	270
269	Rio Tiltapac	350
270	Rio Zanateco	1,549
271	Rio Frio	581
272	Rio Pisiapan	1,212
273	Rio Novillo	462
274	Rio Huehuetlán	4,303
275	Rio Coatlán	570
276	Rio Cahuacán	487
277	Rio Suchiate	483
278	Arroyo El Venado	222,489
279	Cuatro Carreteras	6,522
280	Laguna Honda	5,522
281	Rio Conchos-Chorreras	17,992
282	Rio El Pemo	737
283	Rio Lavaderos	225
284	Arroyo El Cañón	501
285	Arroyo Oliveras	529
286	Rio El Camizo	1,047
287	Arroyo La Pelusa	327
288	Rio El Caracol	537
289	Rio Soto La Marina	21,083
290	Arroyo El Cuale	367
291	Rio Las Coloradas	383
292	Rio San Vicente	299
293	Rio Carrizal	1,626
294	Estero Paso de La Harina	238
295	Rio Tigre	1,153
296	Rio Barberena	2,037
297	Rio Panuco	88,805
298	Cuenca de México	9,219
299	Estero Cucharas	2,359
300	Rio Tuxpan (Pantepec)	6,717
301	Rio Tecolotepec	348
302	Rio Cazonas	2,924
303	Rio Tenixtepec	567
304	Rio Tecolula	7,786
305	Rio Arroyo Blanco	523
306	Rio Bobos	2,933
307	Rio Mirante	588
308	Rio Colipa	434
309	Rio Juchique	312
310	Rio Santa Ana	431
311	Arroyo Paso El Limón	300
312	Rio Agua Fria (Pasantos)	222
313	Rio Actopan	1,997
314	Rio La Antigua	2,196
315	Rio Totomé	1,066
316	Rio Jamapa	4,062
317	Rio Papaloapan	46,023
318	Rio Prieto	592

ID CUENCA	NOMBRE DE LA CUENCA	SUPERFICIE (km ²)
319	Rio La Palma	277
320	Rio Osaia	425
321	Rio Temolacapa	252
322	Rio Coatzacoalcos	21,337
323	Rio Tonala	5,719
324	Granja-Usumacinta	87,735
325	Rio Chumpan	3,008
326	Rio Candelaria	10,517
327	Rio Mamantel	5,479
328	Rio La Malinche	2,143
329	Felipe Carrillo Puerto (localidad)	735
330	Rio Champotón	1,232
331	Laguna Xituchil	769
332	Lago Chic-Ha (lago)	10,668
333	Península Yucatán	79,435
334	Laguna Santiago	4,013
335	Laguna Bacalar	7,934
336	Rio Honda	8,146
337	Lago Los Moscos	1,335
338	Rio Casas Grandes Oeste	16,653
339	Lago Babicora	1,921
340	Lago Polvaredones	450
341	Lago Palomas	297
342	Rio Casas Grandes Este	2,210
343	Arroyo rriñon de Chihuahua	1,886
344	Rio Santa María	11,890
345	Lago El Alamo	2,027
346	Lago Ojo del Diablo	8,358
347	Rio Santa Clara (A. del Carmen)	15,102
348	Lago Bustillos	3,978
349	Lago Tarabillas	1,863
350	Lago Del Cuervo	6,430
351	Lago Encinillas	2,883
352	Lago El Uno	4,403
353	Lago Las Flores	1,023
354	Lago Del Puerto	2,893
355	Rio Bravo - Rio las Bandejas	3,709
356	Lago Los Muchos	1,162
357	Arroyo El Venado	3,771
358	Bolson de Mapimi	10,979
359	Lago Los Juncos	4,949
360	Lago El Gigante	1,781
361	Lago El Mirador	1,545
362	Arroyo La Vega	2,983
363	Arroyo El Amagro	7,406
364	Arroyo Ventón	2,083
365	Lago El Rey	3,790
366	Lago El Guaje	7,290
367	Lago La Leche	5,183
368	Arroyo Las Vegas	2,957
369	Valle El Sobaco	2,271
370	Lomas El Venado	1,137
371	Valle El Hundido	3,155
372	Valle San Marcos y Pinos	2,467
373	Rio Nazas	90,803
374	Lago La Mancha	13,341
375	Lago La Salada	631
3		

DELIMITACIÓN DE LAS ZONAS FUNCIONALES DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO

ARTURO GARRIDO, JOSÉ LUIS PÉREZ DAMIÁN Y CARLOS ENRÍQUEZ GUADARRAMA

EN AÑOS RECIENTES, las cuencas hidrográficas se han convertido en unidades físico-naturales cada vez más utilizadas para el estudio y gestión de los recursos naturales en México y el mundo (Wolker *et al.*, 2006; Cotler y Caire, 2009). La principal razón y fundamento teórico que la sitúa por encima de otras entidades de planeación ambiental es que la cuenca hidrográfica interconecta todo el espacio geográfico que la constituye a través de los flujos hídricos, superficiales y subterráneos, y los flujos de nutrientes, materia y energía (Wolker *et al.*, 2006).

El sistema de interconexión y de transferencia entre las partes altas de las cuencas y las zonas bajas son los sistemas de barrancos y de cauces fluviales. Por este motivo, el principal elemento integrador en una cuenca hidrográfica es el agua; todo lo que ocurre en su territorio repercutirá en la cantidad, calidad y temporalidad de los recursos hídricos (Brooks *et al.*, 2007).

Para su estudio, planificación y manejo, las cuencas hidrográficas comúnmente son subdivididas en unidades de orden, dimensiones y complejidad empleando insumos como la cartografía topográfica, imágenes satelitales y modelos digitales de elevación. Frecuentemente, esta subdivisión se realiza bajo un esquema espacial anidado o jerárquico, con el objeto de focalizar esfuerzos y encauzar recursos hacia áreas “clave” de la cuenca. Las unidades más utilizadas para subdividir o segmentar a una cuenca bajo este tipo de esquemas son las sub-cuencas y micro-cuencas (Wolker *et al.*, 2006; Villanueva, 2002). Los niveles de subdivisión dependerán de la escala geográfica de análisis, de los datos con que se cuente, de la extensión superficial de la cuenca, e inclusive, de la cantidad de actores involucrados (Davenport, 2003).

Sin embargo, no sólo la discretización espacial anidada en subcuencas y micro-cuencas es la única ni la más completa vía

de fragmentación geográfica de una cuenca hídrica. Existen diferentes alternativas de zonificación que complementan a este tipo de divisiones, como por ejemplo, el mapeo geomorfológico aplicado al manejo de recursos naturales (Verstappen y Van Zuidam, 1991; Verstappen, 1984).

De igual forma, existe la posibilidad de subdividir una cuenca en diferentes unidades espaciales a partir de la función hidrológica específica que desempeñan. Se reconocen tres diferentes zonas funcionales en una cuenca: a) el área de colecta o captación, donde las aguas que se precipitan son captadas, infiltradas y posteriormente, concentradas transformándose en escorrentía, b) el área de almacenamiento hídrico, cuya capacidad variará en cantidad y duración dentro del sistema; esta zona es un área de funciones mixtas pues además de almacenar, también desaloja agua cuenca abajo. Finalmente, c) la zona de descarga, de salida o de emisión hídrica de la cuen-

ca, que típicamente se presentará en forma de escorrentía (Black, 1996; Brooks *et al.*, 2007). La identificación de estas zonas es de gran importancia si se busca mantener un adecuado funcionamiento ecohidrológico de una cuenca.

En la funcionalidad hídrica de una cuenca intervienen muchos factores a diferentes escalas geográficas, y en diferentes niveles de interacción. Entre estos factores destacan la escorrentía (su temporalidad y cantidad), el régimen hídrico de los ríos, el arreglo, tamaño y la estructura de la red de drenaje, el régimen de lluvias, las variables climáticas, la geomorfología y la morfodinámica de la cuenca, los tipos de suelo, el tipo de cobertura vegetal, el uso de tierras y el tamaño de la cuenca (Black, 1997).

Más allá de la complejidad inherente a la delimitación funcional de una cuenca, se reconoce de manera pragmática que los efectos ambientales de las condiciones de estabilidad o perturbación en las partes altas de las cuencas (como la erosión de suelos o la conta-

ZONAS FUNCIONALES DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS





minación hídrica por ejemplo), se transferirán hacia las zonas medias, y a su vez, dependiendo de la intensidad y naturaleza de dichos efectos, llegarán hasta las partes altimétricamente más bajas del sistema hidrográfico superficial.

Las partes altimétricamente más altas de la cuenca por lo tanto, se convierten en zonas clave para del manejo integrado de todo el sistema hidrográfico, pues es allí donde se infiltra una gran cantidad del agua que se precipita en la cuenca y que alimenta a los flujos subterráneos; igualmente, en esta zona surgen corrientes incipientes que nutren a los ríos y cuerpos de agua superficiales (Black, 1996).

Por otra parte, las zonas intermedias de las cuencas, por su carácter y posición media entre la cuenca alta y la cuenca baja, suelen ser áreas aptas para el almacenamiento hídrico pues la red de drenaje comienza a integrarse y robustecerse debido a la confluencia de afluentes de órdenes mayores; por esta característica, en estas zonas es frecuente que se construyan grandes embalses. Así, la cuenca media es una zona de mezcla y transición hidrológica hacia las zonas de desembocadura o salida del sistema.

Finalmente, la cuenca baja suele ser una zona donde las corrientes comienzan a disminuir su velocidad y erosividad, transformándose en áreas de mayor estabilidad y depósito de sedimentos (planicies aluviales), es el área que desaloja el agua de todo el sistema hacia el mar o a un cuerpo de agua interior.

Por la importancia que implica la delimitación funcional de una cuenca, partiendo de la división hidrográfica de las cuencas de México y bajo la considerable limitante de la escasez de datos específicos para cada sistema, delimitamos tres zonas funcionales para cada una de las cuencas del país a partir de criterios elementales de tipo geomorfológico.

Esta división busca aproximarnos a la relación que guardan estas tres zonas con la función que desempeñan en el interior de cada cuenca. Esto quiere decir que, la cuenca alta

se asocia potencialmente a las zonas de colecta o captación a través de la infiltración e iniciación de la escorrentía, la cuenca media a la zona de almacenamiento y transporte hídrico río abajo y la cuenca baja se asocia directamente a las zonas de emisión o salida del sistema hídrico superficial.

Para la delimitación de las zonas funcionales, se procesaron y analizaron los datos sobre la altimetría y la morfografía del relieve en cada cuenca a partir de modelos digitales de elevación, así como también la configuración de la red hidrográfica. Se realizó una revisión de los límites a partir de la interpretación geomorfológica de modelos sombreados del relieve utilizando un estereoscopio de pantalla, además del análisis semi-automatizado de los modelos digitales. Para conocer más sobre el proceso metodológico de este trabajo consultar Garrido *et al.* (2009).

Las zonas funcionales y los criterios para su delimitación se sintetizan como sigue:

CUENCA ALTA: áreas aledañas a la divisoria de aguas en la porción altimétricamente más elevada de la cuenca; abarca sistemas de montaña y lomeríos. En esta zona predomina la iniciación y confluencia de corrientes de primer y segundo orden, evidenciando procesos fluvio-erosivos, debido a una mayor energía del relieve por el mayor grado de inclinación de las pendientes. **CUENCA MEDIA:** área transicional entre la cuenca alta y la cuenca baja del sistema hidrográfico. Corresponde a sistemas de lomeríos, colinas, valles y planicies intermontanas y porciones superiores de abanicos aluviales y rampas de piedemonte, con una energía del relieve media. Se observa una mayor integración de la red de drenaje con órdenes intermedios, esto es corrientes de segundo, tercero y cuarto orden (con excepción en las cuencas cerradas del norte cuyo orden oscila entre 1 y 2). La energía del relieve en esta zona es en promedio intermedia al igual que la pendiente. **CUENCA BAJA:** área de salida o emisión del sistema de drenaje, abar-

cando la porción altimétricamente más baja de la cuenca. Incluye las áreas aledañas al cauce principal (bancos laterales) antes de su salida hacia el mar o algún cuerpo interno (perenne o intermitente). Comprende las áreas de planicies de inundación ordinaria y extraordinaria, abarca las terrazas fluviales y los lechos ordinarios y extraordinarios de inundación así como las áreas de abanicos coalescentes. En algunas cuencas, estas zonas son muy estrechas debido a la influencia tectónica o neo-tectónica en las líneas de costa (cuencas de Baja California, por ejemplo) o muy extensas abarcando sistemas meándricos y lagunares. Es un área con nula o mínima pendiente del relieve, mínima energía y se aprecian procesos deposicionales predominantemente. El límite extremo de esta zona funcional es también el límite de un cuerpo colector interno (en sistemas endorreicos) o la línea de costa (sistemas exorreicos).

En cuanto a la distribución espacial de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas, predominan en el territorio nacional las zonas medias (ver mapa), ocupando el 46% (892,500 km²) de la superficie total del país. Se encuentran principalmente a lo largo de las vertientes del Océano Pacífico y del Golfo de México, y en menor proporción, en el centro de la península de Yucatán y en la vertiente occidental de la península de Baja California. En términos de superficie, las zonas medias de las cuencas de los ríos Bravo y Balsas (al noreste y centro-sur de México, respectivamente) resaltan por tener 7 y 3% (135,000 y 58,000 km²) respectivamente del total nacional; le siguen la península de Yucatán y las cuencas de los ríos Nazas y Pánuco, cada una con más del 2% (40,000 km² o más) de la superficie total nacional.

Por otro lado, el conjunto de las zonas funcionales altas ocupan un 35% (680,000 km²) de la superficie total del territorio nacional, distribuidas, de mayor a menor superficie, en las partes altas de la Sierra Madre Occidental,

las zonas montañosas del Eje Neovolcánico, las zonas cumbres de las montañas de la Sierra Madre del Sur, la parte alta de la Sierra de California, las cadenas montañosas de la Sierra de Chiapas y las Sierras del Norte; siendo las cuencas altas de los ríos Bravo y Balsas las más extensas, con el 3.5 y 2.6% (68,000 y 50,000 km², respectivamente) de la superficie total de México.

Finalmente, las zonas altimétricas bajas son las que menos superficie del territorio nacional ocupan, con tan sólo el 19% (366,000 km²) del total; su distribución ocurre a lo largo de las llanuras costeras del Golfo de México y del Océano Pacífico, así como en la península de Yucatán y el Altiplano Mexicano. Contrario al comportamiento de las zonas altas y medias, la zona baja no ocupa grandes superficies; sólo las cuencas Grijalva-Usumacinta y península de Yucatán ocupan el 1.4 y 1.5% (27,000 y 29,000 km² respectivamente), siendo las más conspicuas de este grupo. En orden descendente, las cuencas bajas de los ríos Bravo, Pánuco, Nazas, Papaloapan y Coatzacoalcos ocupan entre el 0.5 y el 1.0% (de 10,000 a 20,000 km²) de la superficie total.

La delimitación que se obtuvo, si bien obedece a criterios de interpretación geomorfológica, muestra también una estratificación congruente con las características altimétricas de cada sistema y en concreto, con el arreglo de la red hidrográfica. Contar con estas zonas funcionales puede ayudar a segmentar el espacio de una cuenca con fines de simplificación de análisis, gestión y manejo territorial para señalar posibles interacciones entre los diferentes elementos biofísicos en el territorio, pero sobre todo, para identificar a los diversos actores y sus procesos territoriales que pueden estar influyendo en la funcionalidad hídrica de la cuenca. La división que aquí se propone es una de las de mayor utilización en el mundo debido a su simplicidad, pero también, a su relación potencial con la funcionalidad hidrológica de una cuenca hidrográfica.

ASIGNACIÓN DE MUNICIPIOS A LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO

ESTHELA I. SOTELO, ARTURO GARRIDO, KARINA RUIZ Y MARÍA LUISA CUEVAS

LOS PROCESOS NATURALES y características geográficas, fueron aspectos poco considerados en el establecimiento de la mayoría de los límites político-administrativos, que dan a nuestro país sentido como federación.¹ Estas fronteras jurisdiccionales, llamémosle *artificiales*, conllevan un aprovechamiento ecológicamente desintegrado de los recursos naturales por parte de las actividades productivas. Sin embargo, las características biofísicas de las cuencas determinan un patrón específico de actividades productivas y procesos de poblamiento. Por esta razón, además de describir a las cuencas en función del estado de sus recursos, es importante analizarlas en función de sus dinámicas socioeconómicas, demográficas y territoriales (Espejel *et al.*, 2005).

En términos de análisis y planeación de las unidades hidrográficas del país, la asignación de municipios a las cuencas o cuencas regionalizadas (CR)² tiene dos ventajas prácticas. La primera es facilitar el cálculo de indicadores por cuenca, pues esta asignación permite utilizar las estadísticas censales disponibles a nivel de municipio y localidad. La segunda ventaja tiene que ver con la identificación de los actores político-administrativos (*i.e.* municipios y localidades) que tienen más influencia en la gestión, modificación y/o mantenimiento de la dinámica ecohidrológica de una cuenca.

Si bien la escala de trabajo (1:250,000) nos constriñe a una aproximación general que sacrifica el detalle, hacer un análisis exhaustivo de los municipios que conforman la cuenca —en función no sólo de poseer cualquier superficie de su territorio dentro de una unidad hidrográfica (Cardona, 2004) o CR, sino de dónde se asienta la mayoría de su población, hacia dónde se orienta la red de comunicaciones, hacia dónde drenan sus descargas o en qué cuenca se ubica la cabecera municipal— nos ofrece un acercamiento más completo de los actores relevantes.

PROCESO DE ASIGNACIÓN³

Dado que en México existen cuencas y CR de gran tamaño, la mayoría de los municipios existentes en el año 2000 (1,468 de un total de 2,443) quedaron totalmente incluidos dentro de los límites físicos de alguna de ellas. Algunos de estos municipios poseen incluso límites parcialmente coincidentes con los parteaguas de las cuencas. Para asignar los 975 municipios restantes, se siguieron tres criterios, que consideran básicamente la superficie municipal contenida en la cuenca, la presencia de la cabecera municipal y la concentración de la población (Mapa 1).

De los municipios por asignar, 869 poseen la mayoría de su superficie en la cuenca a la que fueron asignados (Superficie Municipal

Incluida en la Cuenca (SMIC) > 51%). De éstos, 780 poseen también la cabecera municipal y la mayoría de sus habitantes en la misma cuenca (Figura 1).

Sólo hubo 89 casos cuya cabecera municipal se encontraba en el territorio de otra cuenca, pero que fueron asignados a la unidad hidrográfica que concentraba la mayor superficie y población.

Para asignar los municipios fragmentados que no cumplieron con el criterio de superficie mayoritaria en una cuenca, se recurrió a los criterios de población (mayoría de habitantes en una cuenca) y presencia de la cabecera municipal.

De esta manera se asignaron 101 municipios. Los cinco municipios restantes se asignaron a la cuenca que poseía la mayoría de



Figura 1. Municipio con SMIC > 51%, con cabecera municipal y población en la misma cuenca. Fuente: Sotelo y Jurado, 2007.

sus habitantes, aun cuando no incluyera a la cabecera municipal (Cuadro 2, Figura 2).

CASOS ESPECIALES

Los casos en los que no fue posible asignarles municipio(s) a las cuencas fueron aquellas cuencas pequeñas muy fraccionadas, cuyos límites físicos contenían pequeñas porciones de varios municipios, sin cabeceras municipales y/o con poca población con respecto al total municipal, por lo que los municipios con alguna participación en la superficie de estas cuencas se asignaron a unidades contiguas. En esta situación se encuentran 136 cuencas pequeñas.⁵

Siguiendo los criterios establecidos, los 2,443 municipios constituidos en México, quedaron distribuidos en 154 de las 393 cuencas

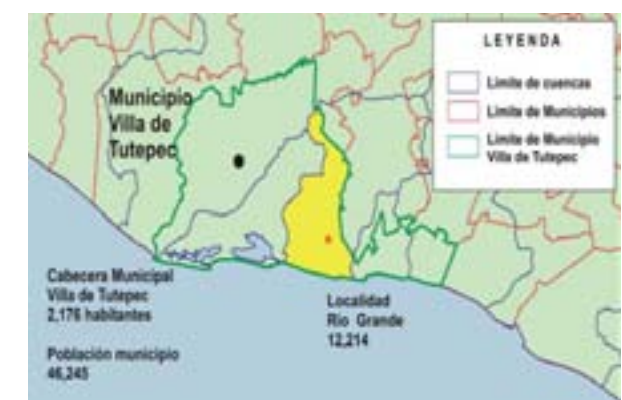
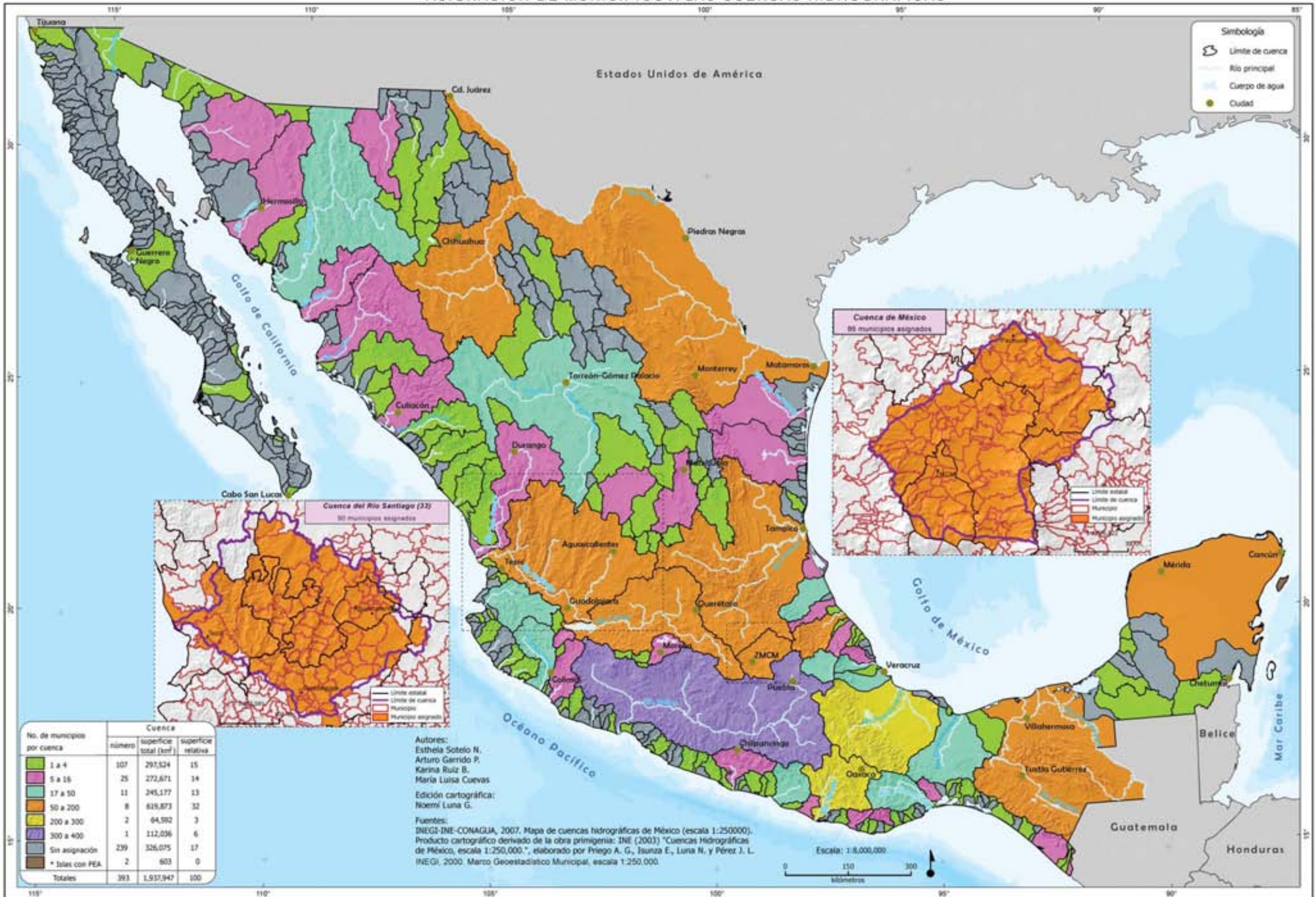


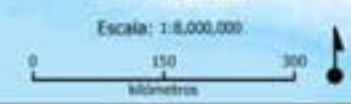
Figura 2. Municipio fragmentado, cuya cabecera municipal no contenía a la mayoría de la población. Fuente: Sotelo y Jurado, 2007.

ASIGNACIÓN DE MUNICIPIOS A LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS



No. de municipios por cuenca	Cuenca		
	número	superficie total (km²)	superficie relativa
1 a 4	107	297,524	15
5 a 16	25	272,671	14
17 a 50	11	245,177	13
50 a 200	8	619,873	32
200 a 300	2	64,592	3
300 a 400	1	112,036	6
Sin asignación	239	326,075	17
* Islas con PEA	2	603	0
Totales	393	1,937,947	100

Autores:
 Esthela Sotelo N.
 Arturo Garrido P.
 Karina Ruiz B.
 María Luisa Cuevas
Edición cartográfica:
 Noemí Luna G.
Fuentes:
 INEGI-INE-CONAGUA, 2007. Mapa de cuencas hidrográficas de México (escala 1:250000).
 Producto cartográfico derivado de la obra primigenia: INE (2003) "Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250,000.", elaborado por Priego A. G., Izuiza E., Luna N., y Pérez J. L.
 INEGI, 2000. Marco Geostatístico Municipal, escala 1:250,000.





regionalizadas. La superficie de las cuencas consideradas equivale al 83% del territorio nacional⁶ y contiene al 98.48% de la población nacional existente en el año 2000.

Cabe mencionar que para el cálculo de los indicadores que utilicen datos municipales imposibles de ser fragmentados o desagregados (*i.e.* Índice de Desarrollo Humano, Valor Agregado Censal Bruto, Población Ocupada, etcétera) se considerará al total de la población *por cada uno de los municipios asignados*. Sin embargo, para realizar el cálculo del indicador *población por cuenca*, se considerará la sumatoria total de la población de todas las localidades contenidas dentro de los límites físicos de una cuenca o CR. Es decir, para el caso específico del conteo de la población por cuenca, no se considerará la asignación de municipios descrita en este documento, sino que se procederá a *cortar* mediante el SIG a todas las localidades que contenga una cuenca y a sumar el total de sus habitantes, independientemente del municipio al que correspon-

dan. Esto con el objetivo de contar con cifras más exactas de la población que habita en cada una de las unidades hidrográficas.

La asignación de los municipios que quedaban comprendidos entre dos o más cuencas, permitirá un análisis socioeconómico más preciso de una entidad delimitada con criterios naturales. Sin embargo, este ejercicio es sólo una aproximación general. Para un análisis más detallado, que permita incorporar datos más robustecidos sobre el impacto de estas actividades en el territorio, es preciso contar con estudios que aborden el análisis a una escala más pequeña, y consideren criterios más específicos en la definición de las condiciones sociales, económicas y político-administrativas de cada unidad.

¹ El sistema federal mexicano asume la existencia de tres entidades político administrativas: la federal, la estatal y la municipal. El Artículo 115 de la Constitución Política establece la figura del munici-

pio como “[...] la base de la división territorial, de la organización política y administrativa de los estados de la Federación”, sin especificar qué criterios deben considerarse para su delimitación. En las constituciones de los estados y en las leyes orgánicas municipales se hace referencia a los límites, los cuales se consolidan como una forma de estructuración social, política y cultural.
² Cuencas agrupadas o regionalizadas, a las que nos referiremos de aquí en adelante como CR (ver en esta obra capítulo de *Regionalización de cuencas*).

³ Una primera versión de este trabajo se presenta en Sotelo, E. y O. Jurado (2007).

⁴ Este criterio se utilizó sobre todo en algunas cuencas del estado de Chiapas, donde la conectividad por carreteras no era muy clara.

⁵ La mayoría de los casos se ubican en la costa del Pacífico y la población total que contienen representa poco menos del 0.89% del total nacional.

⁶ Para el caso de los indicadores económicos, se decidió considerar también las islas del Carmen y de Cozumel, por la importancia económica y demográfica de estos centros urbanos. El listado de municipios y sus cuencas se presenta en el DVD adjunto.

CUADRO 1. CRITERIOS ESTABLECIDOS PARA ASIGNAR MUNICIPIOS A CUENCAS

• **Superficie municipal contenida en la cuenca**

Este criterio sirvió para asignar aquellos municipios con la mayoría de su superficie incluida en alguna cuenca (SMIC > 51%) y diferenciarlos de los municipios fragmentados.

• **Población municipal (concentración poblacional)**

En la asignación de los municipios mayoritariamente incluidos, la población (mayoría de habitantes en una cuenca) se usó como criterio de calibración de la asignación por superficie.

En la asignación de municipios fragmentados, la población fue el criterio *decisivo*, siendo la concentración más elevada de la población municipal lo que determinó la asignación definitiva de un municipio a una cuenca o a otra.

• **Ubicación de la cabecera municipal**

Este criterio se usó como *criterio de calibración o refuerzo* en todos los casos.

• **Red de carreteras (conectividad)**

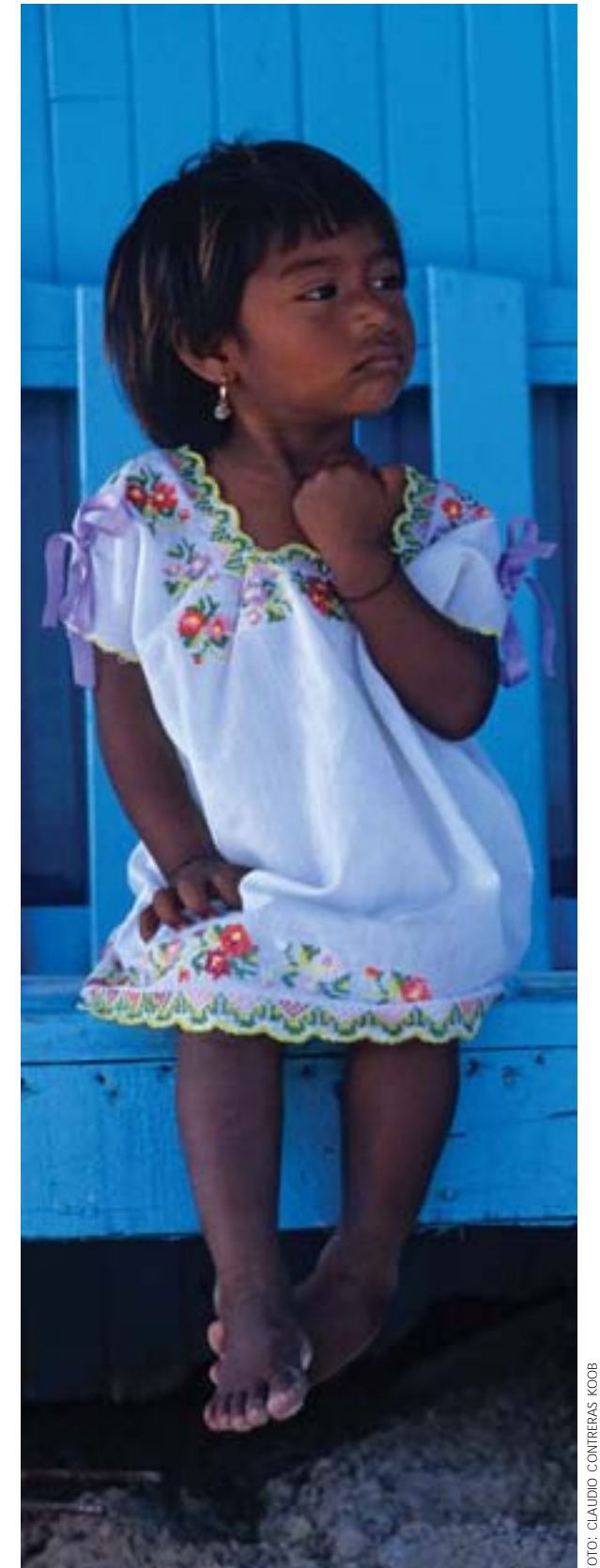
Este criterio se usó para corroborar que los municipios que fueron asignados por población, se hayan asignado a aquella cuenca hacia la cual el municipio en cuestión mostraba una conectividad mayor. Asimismo, este criterio se usó en la asignación de los llamados *casos especiales* de la península de Baja California, señalados más adelante.

• **Modelo sombreado del terreno**

Este criterio se utilizó como *criterio de certidumbre* para verificar la asignación en algunos casos.

CUADRO 2. RESULTADOS DE LA ASIGNACIÓN DE MUNICIPIOS

Municipios asignados por área (SMIC > 51%)	869
Municipios asignados por área (> 51%) CON cabecera municipal y la mayoría de la población del municipio dentro de la cuenca	780
Municipios asignados por área (> 51%) y SIN cabecera dentro pero con la mayoría de la población contenida en la cuenca	89
Municipios asignados a partir de la concentración más elevada de su población y la cabecera municipal	101
Municipios asignados por concentración elevada de población	5
Total de municipios asignados con los criterios establecidos	975



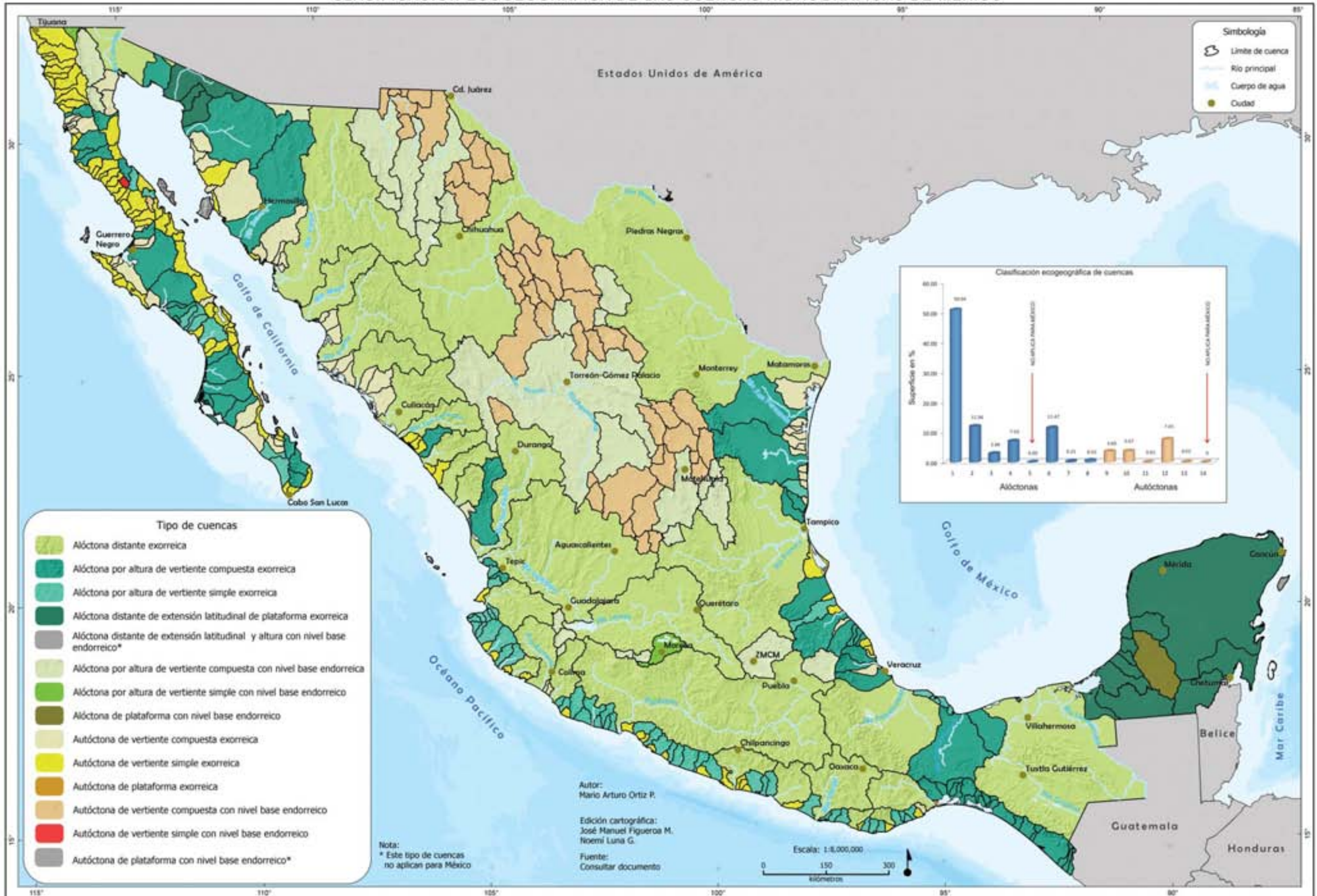
datos

CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS

LA DIVERSIDAD AMBIENTAL DE MÉXICO encuentra su clara expresión en la diversidad de tamaños y formas de cada cuenca, donde la estructura particular de cada una de ellas y sus variaciones climáticas llegan a manifestarse en fenómenos geomorfológicos específicos. En estos ambientes, y como resultado de la dinámica poblacional, se perfila una distinción en las actividades productivas.



CLASIFICACIÓN ECOGEOGRÁFICA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO



CLASIFICACIÓN ECOGEOGRÁFICA DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS: EL CASO DE MÉXICO

MARIO ARTURO ORTIZ PÉREZ

LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS se distinguen de otros rasgos característicos de la superficie terrestre, por un conjunto de propiedades que determinan su identidad. Ésta se desprende de la descripción y el análisis de los diversos elementos físicos y bióticos que conforman la estructura espacial y funcional de las cuencas y que interactúan en el tiempo, aprovechando e intercambiando materia y energía en procesos geocológicos. Conscientes de la importancia de su conocimiento, y de la bondad de su aplicación, se ofrece para su difusión una nueva clasificación, útil para la toma de decisiones en torno a la gestión del agua y de los recursos naturales asociados.

El objetivo de este trabajo es aportar un nuevo esquema de conocimiento y clasificación de las cuencas hidrográficas en México, a partir de elementos que dan forma a la estructura hidrológica del paisaje geomorfológico y que generan diferentes niveles de complejidad espacial dentro de sus límites.

Como una forma de comprensión, las cuencas —al ser entidades territoriales estructuradas en una variada heterogeneidad ambiental que depende de su organización espacial y al poseer identidad por contar con una frontera que las delimita de otras cuencas y objetos configurados de la superficie terrestre— también se pueden distinguir y catalogar en una clasificación.

El concepto de estructura se refiere a las relaciones entre los objetos o componentes naturales que la constituyen, su combinación y distribución. Se concibe en función del arreglo de forma, tamaño y configuración de sus fronteras. Se establece y se define mediante la relación existente entre la roca (materiales), la disposición y morfología del relieve, y el drenaje superficial que se analiza espacialmente, a través de sus propiedades geométricas y de valor numérico (morfografía y morfometría). Todo esto con el fin de describir las diferentes características de la superficie de una cuenca hidrográfica.

La arquitectura inherente a la distribución topográfica y morfológica de la cuenca debe tomarse en cuenta en forma conjunta, ya que cualquier modificación de las características topomórficas repercutirá sobre todo el sistema hidrológico de la misma. Así por ejemplo, una mayor energía potencial está relacionada directamente con la disposición del relieve, al modular las condiciones ambientales de la cuenca. En la medida que se incrementa la magnitud de volumen, altura y tamaño del relieve, los gradientes de pendiente se pronuncian y se relacionan con una mayor energía potencial y cinética. De esta manera, a mayor extensión del tamaño de la cuenca puede haber un incremento de las posibilidades de que exista una mayor diversidad ambiental, que en un momento dado, se puede medir a través del número de tipos de

vegetación. Se prefiere de este modo, toda vez que la vegetación es el reflejo de las condiciones del estado medio del clima, que es el indicador más objetivo y sencillo de observar, además de ser el vínculo con el tipo de ecosistema en cuestión.

- Con una mayor diferenciación altitudinal de la cuenca entre las nacientes y el nivel base, habrá una mayor magnitud de los gradientes de las pendientes. Esta diferenciación posibilita el incremento de la diversidad de pisos bioclimáticos, lo cual rompe con la reclusión reguladora de una determinada influencia geográfica de faja latitudinal. Esta característica propicia condiciones ambientales heterogéneas, influyendo en una mayor riqueza de la biodiversidad.
- Por otro lado, con una mayor altura de la cuenca existe la posibilidad de captar un mayor volumen de agua, considerando sobre todo el beneficio de las cuencas enclavadas en los meso-climas del trópico seco y semiáridos.

Una mayor variedad del arreglo espacial propicia un mayor cambio en la disposición de los gradientes y en la geometría de las laderas que colectan y concentran el escurrimiento o, por el contrario, que lo diseminan (escorrentía con dirección divergente o de forma arréica). Estas características son heredadas y dependen del control de la estructura geológica y el

sentido de los desplazamientos tectónicos, respondiendo desde luego a las condiciones del modelado morfoclimático.

Un mayor grado de complejidad en el arreglo fisiográfico de la cuenca se concibe como sinónimo de heterogeneidad de paisajes, con una mayor diversidad de escenarios y ambientes que albergan una gran biodiversidad, lo que promovería mayor productividad biológica y abundante exportación de nutrientes y de germoplasma. Estas expresiones son pruebas determinantes de procesos que son herencias del modelado geomorfológico sobre los sedimentos, los suelos y la vegetación, los cuales reflejan el curso histórico de la evolución de las etapas sucesivas del paisaje.

CUENCAS ALÓCTONAS Y AUTÓCTONAS

La primera indica diversidad de diseños en el arreglo de la composición espacial y la segunda la homogeneidad del paisaje. Las cuencas *alóctonas* (ver características principales en Cuadro 1 en el DVD adjunto) se caracterizan por presentar nacientes lejanas o distantes, en las cuales las corrientes se han perfilado cruzando por varias regiones naturales, con diferentes climas, así como por diversos terrenos geológicos de relieve distinto, donde es evidente la complejidad espacial inherente. En México tenemos ejemplos de cuencas alóctonas (ver Mapa). En su recorrido, drenan desde de amplias zonas áridas, templadas y de trópico seco y sub-

húmedo. En cada clima hay asociaciones vegetales que reflejan con mejor definición la diversidad de ecosistemas que existen en la cuenca.

Sin embargo, no siempre se cumple la lógica de que a mayor extensión habrá necesariamente una mayor diversidad ambiental. Existen territorios donde los factores climáticos se establecen sobre la superficie de la cuenca con un rango de altitud escaso, con gradientes de pendientes muy tendidos, que permanecen alrededor de cierta latitud y cuentan con un aislamiento inducido por una configuración fisiográfica de barreras topográficas. Éstas propician condiciones ambientales propias de una regularidad local, tal vez retroalimentada con un sesgo influenciado de un ambiente seco de mayor continentalidad.

Una cuenca alóctona tendrá la ventaja —respecto de una cuenca autóctona— de recibir un gasto constante del escurrimiento base, que se traduce en un medio de flujo de amplio rango que asegura una gran conectividad para captar, almacenar, concentrar, asimilar, transformar y transferir energía y materia, mediante los canales abiertos de intercambios costeros, estuarinos, laterales, ribereños, de bañados en planicies bajas de inundación, entre cuerpos de agua y las orillas o con los acuíferos.

EL DISEÑO DE LA ORGANIZACIÓN ESPACIAL DE LA CUENCA, SU TAMAÑO Y SU ALTURA

Si consideramos el esquema que relaciona las cuencas con la disposición espacial y el arreglo geomorfológico, veremos resultados muy interesantes. Si se observa la orientación de la red hidrográfica de los colectores de orden mayor, con respecto a la posición del eje orográfico y el frente montañoso de la vertiente, se tiene la posibilidad de encontrar cuatro tipos de organización espacial (Figura 1).

El primer patrón (Figura 1a) consiste en una cadena montañosa con planicie costera marginal, en la que simplemente la corriente del colector principal desemboca en una llanura

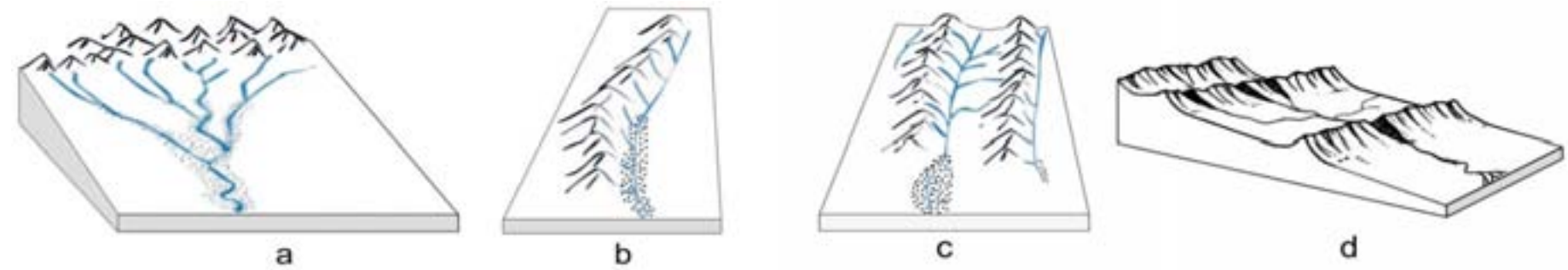


Figura 1. Cuatro arreglos orográficos básicos de cuencas.

de nivel base. El arreglo espacial tiene una amplia y larga cadena de montañas en la cual la vertiente del flanco externo, reconoce y drena hacia el nivel base general del océano o local del continente. El modelo de disección fluvial en su conjunto presenta una red hidrográfica de diseño unidireccional con alto grado de asimetría, al contar con la fuente productora de agua dominante en el extremo de la cadena montañosa. En términos de variabilidad ambiental, ésta es reducida si pensamos que prácticamente todo el drenaje recorre una vertiente del frente montañoso y una llanura dilatada de extensión mucho mayor, cuya relación por dimensión con respecto a la superficie ocupada por la cadena puede ser de uno a diez, o incluso mucho más.

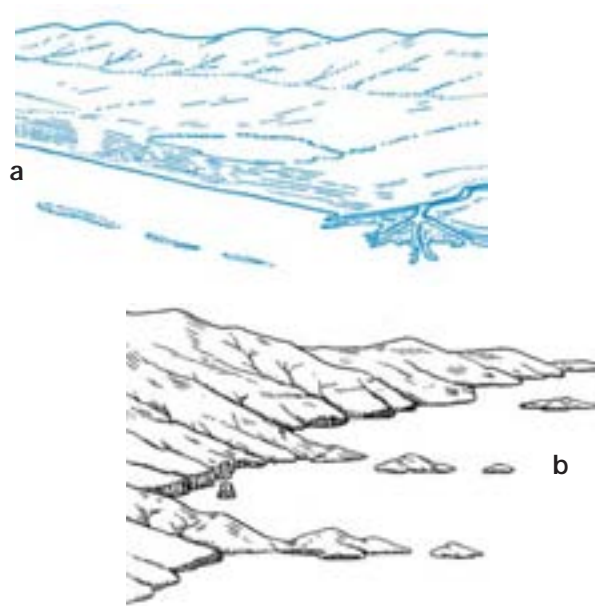
El segundo caso (Figura 1b), se refiere a la vertiente de una cadena montañosa en cuya base se establece una cuenca marginal con dirección paralela al eje orográfico de la sierra. La captación de agua se verifica en las reducidas dimensiones de las laderas receptoras en el nivel superior y la menor captación se recibe en las laderas medias de carácter emisor. La abundancia del agua dependerá de la orientación que guarde el eje orográfico y la exposición de las vertientes. La Figura 1c es una variante del segundo caso, que representa el diseño de cadenas montañosas paralelas con cuencas que se intercalan siguiendo de forma paralela a las cadenas montañosas, sean de plegamiento o en un estilo de bloques. La estrategia en la captación del recurso hídrico

dependerá de su localización, que comprende tanto la orientación y disposición de mayor altura, como del perfil longitudinal del colector de mayor longitud o distancia con respecto a la amplitud horizontal y vertical de la vertiente. Conviene considerar el papel que ejerce el interfluvio principal como barrera orográfica, ya sea para captar humedad e impedir su traslado tierra adentro.

La cuenca con una sobreimposición del drenaje (Figura 1d), corta por disección fluvial las cadenas montañosas, conectando y cruzando cuencas entre montañas escalonadas cuyo origen se relaciona con una historia geológica de carácter tectónico. El arreglo fisiográfico de este tipo de patrón permite el encadenamiento de una serie de pisos fito-climáticos formados en las vertientes, que le imparten una alta diversidad y heterogeneidad, posible gracias a las características de amplitud vertical de la altitud, aunada a una mayor extensión espacial y a la baja posición del nivel base. Cuando el escurrimiento desciende y recorre la llanura costera (Figura 2a) tiene mejor oportunidad de intercambio de sustancias por crecidas, desbordes e inestabilidad del cauce, con relaciones de vecindad de paisajes heterogéneos, como es el caso de la asociación con humedales, estuarinos y los diferentes ámbitos costeros que propician una riqueza y diversidad de ambientes. Se identifica así a una variante del subtipo conocida como cuenca compuesta. Otro atributo de la cuenca alóctona o distante, es que las trayectorias de la red fluvial mantie-

nen rumbos multidireccionales cumpliendo así con esta ley de carácter distintivo. La red aparenta una desorganización hidrográfica, sin embargo, la presencia de valles transversales indica lo contrario: la existencia de un fuerte control estructural. En este sentido, las observaciones hechas hasta ahora indican que todas las cuencas alóctonas distantes en realidad comparten secciones de cursos de valles longitudinales o subsecuentes, cuya dirección cambia de rumbo drástico a valles transversales ligados a un fuerte control estructural.

Por el contrario, las cuencas autóctonas son de tamaño reducido, más simples, pues es común que pertenezcan a una sola región; son cuencas hidrográficas cercanas, parte integrante de la misma región. Es de esperarse que exista una menor diferenciación en la estructura horizontal de los paisajes, dada la regularidad de condiciones o escasa variabilidad climática. Las corrientes fluviales son de recorrido más corto y de carácter más torrencial; dominan los patrones de ríos de riberas erosivas, donde tiene lugar el corte de disección en el fondo del lecho. Pueden pertenecer al mismo terreno geológico, pues recorren sólo una vertiente en la cual se cumple la ley de orientación de la red hidrográfica, en sentido unidireccional, descendiendo en un declive de mayor pendiente, desembocando al nivel base local o hasta el mar. La incisión del cauce confinado no tiene la oportunidad de relacionarse horizontalmente con los paisajes vecinos (Figura 2b).



Figuras 2a y 2b. Esquema de vertiente compuesta cuando el arreglo fisiográfico permite la existencia de una llanura costera antes de desembocar en el mar y de cuenca con vertiente simple, cuando la red fluvial desciende de las laderas con valles encajados, hasta el nivel base del mar.

Con el exclusivo fin de que la presente clasificación sea aplicable en diferentes contextos espaciales muy extensos, se reconoce por su estilo estructural a las *cuencas homogéneas bajas de plataforma*. Estas son las cuencas de mayor simplicidad, toda vez que sería para nuestra clasificación el último eslabón de la cadena más elemental, que consiste en una cuenca cuya superficie no cuenta con contrastes topográficos. Normalmente presenta una composición de regularidad espacial con una estructura de matriz homogénea. Puede ser por ejemplo, una planicie denudatoria o acumulativa ligeramente inclinada; también puede pertenecer a una rampa de cuevas de morfología baja ondulada, en donde desde luego no existe una variabilidad de patrones espaciales visibles, ni mucho menos una diferenciación de pisos bioclimáticos, salvo el de los cambios propios en la fisonomía de la vegetación.

A pesar de esta evidente regularidad, en ocasiones son susceptibles de contener dife-

renciación de las asociaciones vegetales debido a las variaciones del sustrato litológico, al cambio de facies de formaciones superficiales producto de distintas cortezas de meteorización. La diversidad del clima y zonación correspondiente de la vegetación, tiene lugar cuando la superficie de la cuenca se extiende de forma latitudinal, ya sea en sentido septentrional o bien, en sentido meridional. Son cuencas propias de amplias estructuras cratónicas de viejos macizos rocosos, formando escudos de dimensiones subcontinentales.

LA POTENCIALIDAD LA CUENCA EN FUNCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN ESPACIAL Y DEL VALOR DE SU CAPITAL NATURAL

La potencialidad de cada cuenca se puede evaluar como el grado de complejidad o aloctonía. Esto se puede medir por el mayor número de vertientes y el valor acumulativo de su desnivel. Una forma más de validar la calificación de complejidad consiste en contar el número de veces que la corriente principal corta o atraviesa vertientes o interfluvios; dichos flancos separan y dividen la red hidrográfica en subcuencas. En el SIG se evalúa el número de subcuencas y sus respectivas dimensiones. Ambos, el número de interfluvios y el de subcuencas, son datos de validación que se complementan entre sí.

Como primer paso se debe reconocer la jerarquía del tamaño de la cuenca en cuatro grandes categorías. De mayor a menor tenemos: a) la alóctona distante (macrocuenca), donde el escurrimiento proviene de diferentes conjuntos de vertientes que involucran a diferentes dominios bioclimáticos; b) la alóctona cercana (cuenca media) que proviene de terrenos con diferente geomorfología, pero que pertenecen a una misma vertiente, la cual, por altitud elevada contiene dos o más asociaciones de pisos fito-climáticos que aseguran una diversidad ambiental; c) la autóctona (cuenca vertiente) aquella que pertenece a una vertien-

te con una historia geológica semejante, condicionada con el mismo tipo de mesoclima y asociación vegetal; d) el valle vertiente (nanocuenca) ocupada por la superficie de un valle, donde se destaca la cohesión dada por una mayor homogeneidad del paisaje con una composición reducida de facies o divisiones de unidades naturales menores. La subcuenca o microcuenca son divisiones convencionales hechas con fines de manejo de la macrocuenca o de la cuenca vertiente.

En síntesis, la complejidad o la unicidad de la cuenca se basa en la organización espacial fundamentada en el emplazamiento tectónico de la estructura geológica, en la disposición geomorfológica del desarrollo de la red hidrográfica, en el grado de diversidad de paisajes geomorfológicos, en la diferenciación de pisos de asociaciones fito-climáticos y en la estimación del valor de su biodiversidad.

EMPLAZAMIENTO ESPACIAL DE CUENCAS HIDROLÓGICAS EN EL TERRITORIO DE MÉXICO

En este apartado se analizan y evalúan la distribución de las cuencas, su localización relativa con respecto a la fuente hídrica y al destino del escurrimiento en función de los tipos de vertientes del país. Las cuencas exorreicas reconocen su desagüe por el costado de la vertiente del Pacífico o por la margen oriental, como vertiente externa que reconoce como nivel base al Golfo de México, además, desde luego, de las demás cuencas interiores que presentan niveles de base dentro de la porción continental. La disposición y el grado de exposición de los flancos, el estilo estructural de carácter geológico, la altitud de las fuentes de alimentación y el tamaño, son atributos indicadores de la organización espacial que guían y marcan la diversidad bio-climática.

El origen de la diversidad ambiental de las cuencas depende en gran parte de la posición latitudinal del territorio, entre los que se encuentra el cruce del Trópico de Cáncer que

contrasta el límite de las tierras bajas del trópico con las tierras de latitudes medias, de clima templado, particularmente influyendo en la división subcontinental de los biomas, es decir neo-ártico y neo-tropical formando en faja de transición sinuosa que se interdigita alrededor de los límites del Sistema Volcánico Transversal. Este hecho y la estructura espacial de la distribución de las sierras y cadenas montañosas, imparten una influencia definitiva. Así es como las cuencas alóctonas distantes ocupan la mitad de la superficie total del territorio al originarse en las cumbres de los principales sistemas orográficos del país (Mapa adjunto). En este mismo contexto, tienen lugar las cuencas de colectores alóctonos cercanos que por la estrategia de su localización correspondiente al elevado nivel hipsométrico de la zona de producción del recurso hídrico, adquieren en el perfil topográfico de la cuenca el gradiente de diferenciación ambiental. Las cuencas de carácter autóctono, de menor tamaño y altitud, se distribuyen ligadas a la disposición de las sierras cercanas a la costa, como es el caso de la península de California y parte de las vertientes de la Sierra Madre del Sur y otras cuencas de la vertiente externa de la Sierra Madre Occidental, que por degradación han perdido la cobertura original de los pisos de vegetación, toda vez que ahora el perfil de las cuencas es homogéneo desde sus nacimientos hasta la desembocadura, con una cobertura de vegetación secundaria. Para las cuencas interiores del norte del país, en la altiplanicie septentrional, las más extensas y prominentes de altura, están ligadas en buena parte a las vertientes internas de los principales ejes orográficos, permiten la aloctonía de las cuencas endorreicas, mientras en el sistema de sierras bajas y bolsones de la porción central de los altiplanos domina las cuencas autóctonas.

Se agradece la buena voluntad, captura digital y edición cartográfica de José Manuel Figueroa MahEng y de Carlos Enríquez Guadarrama.

IMPACTO DE LOS CICLONES TROPICALES EN LAS CUENCAS DE MÉXICO

MICHEL ROSENGAUS

LOS CICLONES TROPICALES son tormentas marinas de gran extensión y particular estructura que se caracterizan por vientos fuertes que giran alrededor de un centro de baja presión atmosférica en sentido contrario al de las manecillas del reloj (en el hemisferio Norte visto desde el espacio). Los ciclones se generan sobre aguas cálidas tropicales, pueden mantenerse como tales en regiones subtropicales e inclusive en latitudes medias. México es uno de los países con mayor incidencia directa o marginal de ciclones tropicales del planeta, los cuales entran por ambos litorales (Océano Pacífico y Golfo de México-Mar Caribe) provenientes de dos zonas ciclogénicas distintas (el único otro país con una situación similar es Australia). Un ciclón tropical es equivalente, en lluvia, a un conjunto de decenas o centenas de tormentas convectivas y tienen una fuerte penetración hacia el interior del continente. Es por ello que la incidencia de ciclones tropicales sobre las cuencas de México determina en forma importante su comportamiento hidrológico, su red de drenaje y su potencial de erosión, entre otros. Sin ser las únicas tormentas de importancia en México, sí son las más extensas, las potencialmente más peli-

grosas y las que pueden determinar la fracción de la lámina de lluvia total anual que se concentre en un solo (o unos cuantos) evento(s) en el año. Más aún, no sólo afectan a las cuencas tropicales del país, sino inclusive a las cuencas de las zonas áridas y semiáridas del territorio.

GENERALIDADES SOBRE CICLONES TROPICALES

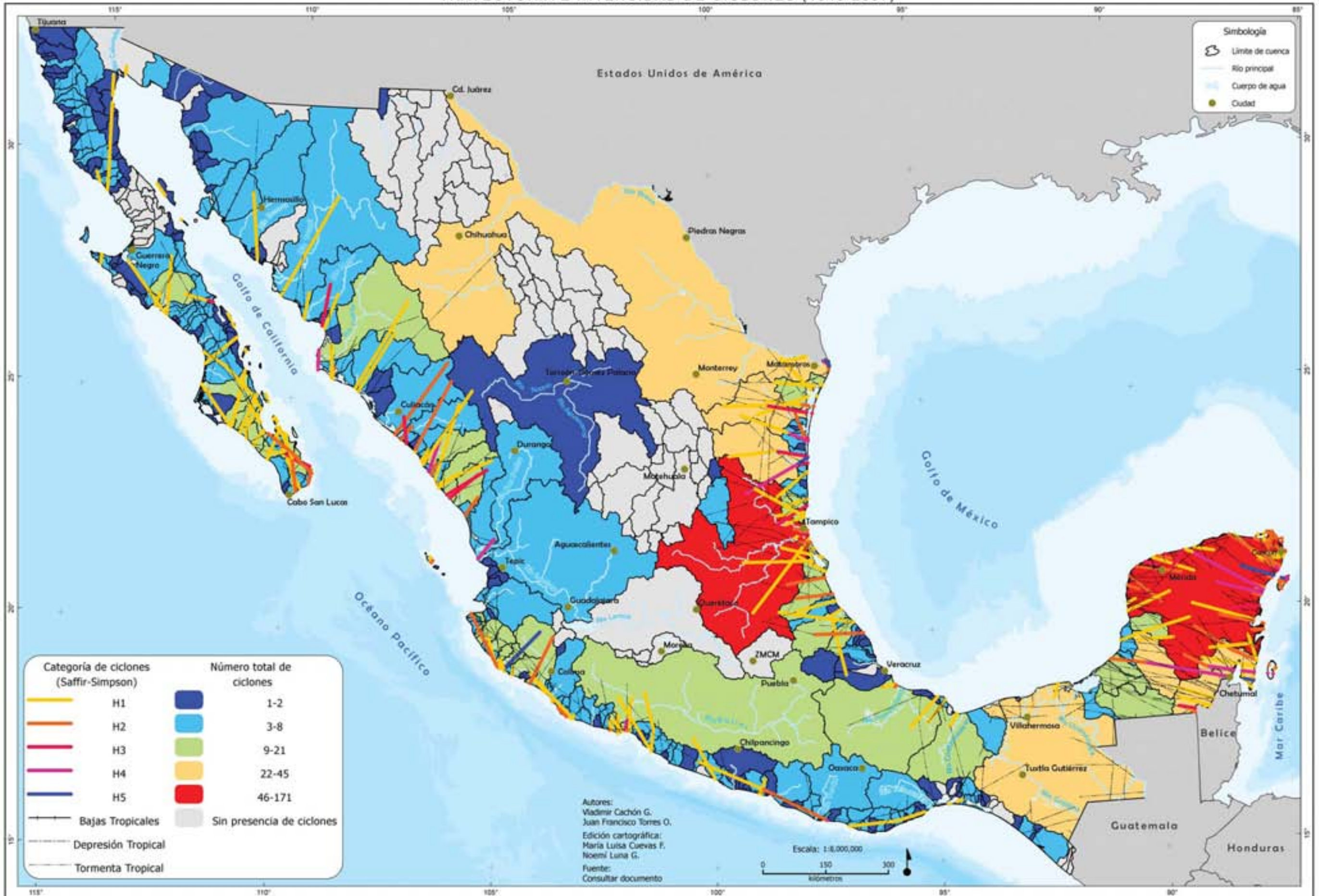
El fenómeno genérico denominado como ciclón tropical recibe diversos nombres dependiendo de su intensidad, misma que se mide por la presión central (entre más baja más intenso) o por la velocidad de sus vientos máximos sostenidos. Se denomina depresión tropical a un sistema débil (con vientos máximos sostenidos menores a unos 63 km/h), tormenta tropical para el rango de 63 a 118 km/h y huracán para vientos mayores a 118 km/h. Inclusive existen cinco categorías de huracán en la escala de Saffir-Simpson. Sin embargo, la precipitación pluvial producida por un ciclón tropical no tiene una alta correlación con la intensidad del mismo, existiendo depresiones tropicales con alta producción de lluvia y huracanes de alta categoría muy pobres en producción de lluvia. Siendo precisamente la lluvia la manifestación más impor-

tante de los ciclones tropicales en cuanto a las cuencas, en este capítulo se mantendrá la nomenclatura genérica de ciclón tropical mientras no resulte necesario detallar más en cuanto a la intensidad del sistema.

El giro de los vientos alrededor de la zona de baja presión tiene la peculiaridad de presentar una ligera convergencia hacia el centro, cuando se trata de los vientos que ocurren directamente sobre la superficie marina o terrestre. Es esta convergencia la que transporta humedad en forma de vapor hacia el centro, misma que asciende por la llamada pared del ojo del ciclón, perdiendo temperatura y con esto induciendo la condensación masiva de dicho vapor, lo que, naturalmente, produce las lluvias. Pero al condensarse, el vapor también cede la energía que originalmente se requirió para evaporar el agua de la superficie del mar, al aire circundante, aumentando su temperatura, dándole más flotación y manteniendo el centro de baja presión como tal. La convergencia y el ascenso mencionado no ocurren directamente sobre el centro de giro, sino sobre un anillo de densas nubes denominado la pared del ojo. El ojo en sí es una zona relativamente calmada y frecuentemente sin lluvia. Es en este anillo en el que ocurren las máximas velocidades de viento y las precipitaciones más intensas y más continuas. Por

razones que resultarán evidentes más adelante, resulta importante darle dimensión aproximada a este ojo del huracán y a la pared del ojo. Aunque entre sistema y sistema tienen cierta variación, diámetros típicos del ojo van de unos 25 km a unos 75 km. Un espesor típico de la pared del ojo sería de unos 10 a 25 km. Así pues, en orden de magnitud, si el centro de giro de un ciclón tropical pasa a 100 km o menos de una cierta cuenca, en general estará sujeta a las manifestaciones medulares del sistema: vientos muy cercanos a los más intensos y precipitaciones pluviales muy importantes. Alrededor de esta zona medular y fuera de ella, las tormentas se organizan a lo largo de espirales, aunque ni siquiera sobre ellas son 100% continuas. La zona alrededor del ojo con tormentas convectivas importantes tiene, en orden de magnitud, un radio de unos 300 km. La zona con cobertura nubosa puede ser mucho más extensa, digamos de unos 600 y hasta 750 km alrededor de su centro de giro. En esta zona externa las lluvias son posibles pero serán más bien del tipo estratiforme (baja intensidad, larga duración). Así pues, si un ciclón tropical pasa a una distancia de unos 300 km o menos de una cierta cuenca, la tendrá sujeta a lluvias importantes, pero no necesariamente las medulares. Sólo si pasa a unos 100 km o menos, recibirá las lluvias intensas

TRAYECTORIA E INTENSIDAD DE CICLONES (1940-2007)



y continuas características de la parte central del ciclón tropical. Aunque por supuesto existirán algunos efectos más allá de 300 km del centro de giro de un ciclón tropical, éstos serán más débiles y probablemente no serán mayores que muchas otras tormentas que pueden afectar a dicha cuenca. Los valores presentados son simplemente umbrales conceptuales. No hay cambios abruptos dentro de la estructura de un ciclón ni exactamente a los 100 km ni exactamente a los 300 km de su centro de giro.

Para estimar la importancia relativa de un ciclón tropical sobre una cuenca, se pueden realizar estimaciones burdas pero útiles. De poder permanecer continuamente debajo de la pared del ojo de un ciclón tropical, se estaría sujeto a intensidades de lluvia de unos 25 mm/h. Esto implicaría acumulaciones cada 24 horas del orden de 600 mm. Pero los ciclones tropicales se mueven sobre las cuencas, en general no permanecen estáticos sobre ellas. Una velocidad típica de traslación sobre México sería de unos 16 km/h. Esto es, para la zona medular (100 km alrededor del centro de giro), que pasando sobre un cierto punto, lo sujetaría al orden de unas 6 horas de lluvias intensas, implicando acumulaciones de unos 150 mm. Esto sería cierto en forma aproximada tanto para puntos directamente bajo la trayectoria (que estarían relativamente libres de

lluvia al paso del ojo) como para los puntos que se encontrarán directamente bajo el paso de los bordes derecho o izquierdo de la pared del ojo. Considerando también el paso de la zona de las espirales convectivas, los ciclones tropicales pueden dejar acumulaciones del orden de los 250 mm, en lapsos de tiempo menores a 24 horas. La orografía local afecta sensiblemente estas estimaciones burdas, amplificándolas en la zona en la que los vientos fluyen del mar hacia tierra en forma cuasiperpendicular al eje de la sierra y viceversa.

Estas estimaciones de inmediato manifiestan la importancia relativa de los ciclones tropicales sobre las cuencas de México. Al ser la precipitación media anual en México del orden de unos 750 mm, el paso de un ciclón tropical sobre una cuenca típica puede representar 1/3 del total de la lluvia anual. Pero mientras que en las cuencas del Pacífico sur, con precipitaciones anuales típicas de unos 1,500 mm, puede representar tan solo 1/6 del total anual, en cuencas áridas de la península de Baja California con precipitaciones anuales típicas de tan solo 100 mm, puede representar 2.5 veces el promedio anual.

EFFECTOS DE LA INCIDENCIA DE CICLONES TROPICALES SOBRE UNA CUENCA

Cuando inicia la lluvia en una cierta cuenca, la precipitación inicial no se convierte en escurrimiento directo hacia sus cauces de drenaje natural, pues quedan atrapadas en el follaje, humedece la capa superficial del suelo o se evapora. De continuar la lluvia, el escurrimiento superficial inicia hasta alcanzar los cauces más pequeños y de ahí en adelante fluye hacia los cauces principales. El tiempo que le toma a la gota más alejada de la salida de la cuenca en arribar a su desembocadura es el llamado tiempo de concentración y depende fuertemente del área total de la cuenca, aunque también de las pendientes, la complejidad de la red de drenaje, la cobertura

vegetal, el tipo del suelo, etc. Los tiempos de concentración de las cuencas más pequeñas estudiadas en esta publicación son del orden de magnitud de unas cuantas horas. El de las cuencas más grandes es del orden de magnitud de una semana o más. De ocurrir una intensidad de lluvia uniforme por una duración igual o mayor al tiempo de concentración de la cuenca, el proceso de drenaje entra en una especie de equilibrio, en el que la misma agua que precipita sobre la cuenca está fluyendo por la salida de la misma y el caudal ya no aumenta. Esta simplificación de la realidad resulta en un indicador de en qué casos los ciclones tropicales resultan críticos por producir los mayores caudales de salida en una cuenca. Para cuencas muy pequeñas, tormentas convectivas aisladas pueden cubrirla en su totalidad y producir caudales de salida tan altos como los que producirían ciclones tropicales. Por supuesto, la mayor duración de la lluvia de un ciclón tropical mantendría este caudal extremo fluyendo durante más tiempo. En el caso de las cuencas más grandes fenómenos productores de lluvias de gran duración (del orden de una semana) serían los más críticos. Tormentas convectivas aisladas, por más intensas que fueran, producirían intensidades de lluvia promedio muy bajas (sobre el área de la cuenca y sobre una semana de tiempo) y por lo mismo caudales lejos del crítico. Las lluvias de ciclones tropicales tienen duraciones (sobre una cuenca en particular) del orden de 24 horas, manteniendo una intensidad bastante alta durante su paso. Estos ciclones serían críticos para cuencas de tamaño intermedio, con tiempos de concentración del orden de 24 horas y con caudales no despreciables. Ejemplificando, en una cuenca hipotética de 2,500 km² (como un cuadrado de 50 km por 50 km) sobre la cual precipitara una intensidad de lluvia promedio (en la cuenca y en el intervalo igual al tiempo de concentración) de 5 mm/h y considerando que tan

solo 50% del agua precipitada se convirtiera en escurrimiento; el caudal pico sería del orden de más de 17,000 m³/s.

Luego pues, la incidencia de un ciclón tropical sobre una cierta cuenca de tamaño medio podría establecer los caudales máximos en su cauce de salida. Más aún, la frecuente incidencia de ciclones tropicales históricos sobre dicha cuenca mediana puede haber sido determinante en la formación de los cauces actuales y en su capacidad de conducción de caudales sin rebasar las márgenes de los mismos. Caudales de esta magnitud y las lluvias que los producen pueden haber sido los mayores productores de erosión y transporte de sedimento por el cauce hacia aguas abajo, y por lo mismo haber determinado la morfología y composición de sedimentos en su descarga al mar (o a algún cuerpo natural de agua en el caso de cuencas endorreicas). En otras palabras, para cuencas con determinada ubicación geográfica y determinado rango de extensión, las lluvias producidas por los ciclones tropicales pudieron haber sido determinantes en la configuración actual y capacidad de la red de drenaje natural. Bajo las condiciones actuales, la mayor parte de las cuencas en el país presentan múltiples efectos producidos por la actividad humana, que aumentan la posibilidad de arrastre de suelos, erosión, restricción de la capacidad de conducción de los cauces, etcétera, aunque pueden ser contrarrestados con múltiples medidas de control de inundaciones (presas, bordos, reencauzamientos, etc.). El comportamiento de estas cuencas altamente modificadas bajo el *stress* impuesto por las lluvias de ciclones tropicales será determinante en la viabilidad de sus poblaciones, la productividad de sus suelos, la disponibilidad de recursos hídricos futuros, su biodiversidad, la persistencia de los caudales base en sus cauces, la ocurrencia de desastres naturales recurrentes, etcétera.



Huracán Dolly, 2008

FOTO: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La metodología seguida en este capítulo es, desde el punto de vista conceptual, sencilla. Se trata de un estudio de contabilidad de incidencia o afectación de ciclones tropicales sobre el conjunto de cuencas preestablecidas. Se contabiliza el número de ciclones tropicales cuyo centro de circulación ha pasado sobre cada cuenca desde el 1 de enero de 1940 hasta el 31 de diciembre de 2007 (es decir un lapso de 68 años). El hecho de que antes de los 1960's no se contara con satélites meteorológicos que garantizaran que la totalidad de ciclones tropicales fueran contabilizados, no resulta crítico en este caso, ya que los ciclones tropicales no contabilizados antes de los 1960's eran precisamente aquellos que ocurrían sobre el mar y lejos de rutas marítimas con alto tráfico. En esta aplicación la contabilidad es sobre tierra, donde existen numerosos paquetes de información que permiten identificar la existencia de la totalidad de los ciclones tropicales. Se identifica la trayectoria que han seguido dichos ciclones tropicales sobre el territorio nacional y, para tomar en cuenta que estos fenómenos no son puntuales, se elabora otra contabilidad del número de ciclones tropicales que han pasado a menos de 100 km y a menos de 300 km de distancia de cualquier parte de la cuenca (aún aquellos en los que, de hecho, su centro de giro no ha incidido directamente sobre tierra). El umbral de 100 km se utiliza como un indicador de efectos medulares de los ciclones, mientras que el de 300 km se utiliza para considerar efectos no necesariamente medulares, pero sí importantes. Estos cálculos se han realizado utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica y las bases de datos estándar de las trayectorias de los ciclones tropicales históricos, así como de los contornos de las cuencas, buscando intersecciones entre ellas. Los resultados se manifiestan en tablas, considerando las diferentes categorías

de intensidad de los ciclones tropicales: depresión tropical, tormenta tropical, huracán categoría 1 hasta huracán categoría 5, por separado, aunque en los mapas que integran estos resultados se muestran todas las categorías en conglomerado. La frecuencia de incidencia, directa o del entorno, de ciclones tropicales en cada cuenca, se utiliza como un indicador del grado de concentración de la climatología de precipitación en uno solo o en unos cuantos eventos.

INCIDENCIA DIRECTA DE CICLONES TROPICALES

En el Cuadro 1 se enumera el número de ciclones tropicales históricos que han incidido directamente sobre las cuencas en cuestión (por separado para cada categoría), esto es, aquellos en los que una porción de la trayectoria intersecta el contorno de la cuenca en sí. El Mapa 1 muestra en forma condensada el resultado del número de huracanes. El color de cada cuenca es un indicador de la frecuencia de incidencia directa de ciclones tropicales de cualquier intensidad.

Es conveniente recordar que las cuencas en cuestión son de diversos tamaños, por lo que la probabilidad de que cuencas grandes contabilicen mayor número de incidencias es mayor que en el caso de cuencas pequeñas.

Se observa de inmediato que no existe parte del territorio nacional que no haya tenido incidencia alguna de ciclones tropicales, aunque el extremo noroeste del país, así como las cuencas del altiplano central al norte de Chihuahua, entre Coahuila y Chihuahua y al sur de Nuevo León tienen la menor frecuencia. En el primer caso se debe a las aguas relativamente frías del Pacífico frente a las costas de Baja California, mientras que en los otros tres casos, por su relativa lejanía al mar y protección de la dupla de la Sierra Madre Occidental y de la Sierra Madre Oriental. La mayor incidencia por cuenca se observa en el extremo suroccidental de México, esto por la

CUADRO 1. NÚMERO DE CICLONES DE CADA CATEGORÍA QUE HAN PENETRADO EN ALGÚN PUNTO DE LAS CUENCAS COSTERAS DEL PAÍS, ENTRE ENERO 1 DE 1940 Y EL 31 DE DICIEMBRE DE 2007

CLAVE DE LA CUENCA	NOMBRE DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA	CATEGORÍA DE CICLÓN								TOTAL GENERAL
		H1	H2	H3	H4	H5	L	TD	TS	
10A1	Arroyo Masiaca	1		1					1	3
10A2	Arroyo Agiabampo								1	1
10A3	Río Fuerte	4			1			2	7	14
10A4	Estero La Inicial	2			1				3	6
10A5	Bahía Ohuira	2	1					1	2	6
10A6	Estero Cohui	2	1						2	5
10B1	Río Sinaloa	2						2	2	6
10C1	Estero Batamotos	2							1	3
10C2	Río Evora							1	1	2
10CG1	Río Pericos							1	1	2
10DG1	Río Culiacán	1	2	1					1	5
10E1	Río San Lorenzo	2	2	1				1	2	8
10EG1	Río Elota	3	1		1				3	8
10EG2	Río Piaxtla	3	1		1			2	3	10
10G1	Arroyo El Venadito		1	1					1	3
10G2	Arroyo Los Arrayanes		1						1	2
10G3	Arroyo Potrerillo	1	1						1	3
10G4	Arroyo El Sombrerete	1	1		1			1	2	6
10G5	Arroyo Puente de Fierro	3	1					2	1	7
11A1	Río Presidio	2		2				3	4	11
11A2	Río Baluarte	1	1	2				1	4	9
11A3	Laguna Agua Grande		1						2	3
11A4	Río Acajoneta	1		1	1			1	2	6
11B2	Río San Pedro				1			2	1	4
12D1	Arroyo Piedra Ancha								1	1
12EF1	Río Santiago				1			1	1	3
13A1	Río El Palillo							1	1	2
13A2	Río Ixtapan							1		1
13A3	Río Huicicila							1		1
13A4	Río Chila (Viejo)							1		1

H = Huracán (1 al 5 en la escala Saffir-Simpson) L = Bajas tropicales TD = Depresiones tropicales TS = Tormentas tropicales

gran frecuencia de sistemas con trayectorias casi-paralelas a la costa. Resulta interesante observar que, aunque los dos polos que tradicionalmente se consideran de mayor incidencia de ciclones tropicales, el sur de la península de Baja California y el noreste de la península de Yucatán, muestran igual catego-

ría de incidencia de número total de sistemas, la primera no contabiliza ningún huracán de categoría 5, mientras que la segunda muestra el máximo nacional para estos sistemas extremos. Esto se debe a que muchos de los sistemas tropicales que han incidido sobre Quintana Roo son sistemas que ya han tenido

Zona urbana de Cozumel inundada tras el paso de *Wilma*, 2005.Erosión en el perímetro urbano de Acapulco tras *Pauline*, 1997.

un gran desarrollo de su trayectoria desde las islas de Cabo Verde frente a África (más de 5,000 km), mientras que los sistemas que inciden sobre el extremo sur del estado de Baja California Sur han tenido un desarrollo de su trayectoria relativamente corto, pues son generados típicamente al sur de la costa del Pacífico sur de México (con recorridos tan sólo del orden de los 1,500 km).

TRAYECTORIAS SOBRE EL TERRITORIO NACIONAL

En el mismo mapa se presentan las porciones de la trayectoria (la línea imaginaria que sigue las posiciones consecutivas del centro de giro) de los ciclones tropicales que han incidido sobre México. El color de cada línea indica la intensidad del ciclón tropical en el momento de su incidencia a tierra sobre el litoral, pero es necesario puntualizar que al avanzar sobre

tierra se va debilitando hasta disiparse. Nuevamente se puede ver que prácticamente ninguna porción del litoral mexicano está exenta de la incidencia de estos fenómenos meteorológicos. También notamos que, con excepción de la costa Pacífico sur de México, es muy frecuente una incidencia relativamente perpendicular al litoral, lo que les permite gran desarrollo hacia el interior del país. Por supuesto destaca la gran cantidad de trayectorias sobre la península de Yucatán, misma que amerita inclusive una ampliación ya que frecuentemente existe cruce completo de la misma, esto por ser relativamente plana y estar casi al nivel del mar. El extremo sur de la península de Baja California también destaca por el gran número de trayectorias. Se observa además que, quizá en forma paradójica para algunos, las zonas más lluviosas de México (Chiapas, Tabasco, sur de Veracruz), no cuentan con muchas trayectorias. Esto enfatiza más lo importantes que resultan los ciclones tropicales para muchas de las zonas que no presentan las mayores cantidades de lluvia. Una ausencia continua de ciclones tropicales puede significar condiciones de sequía significativa. Finalmente, se hace necesario puntualizar que algunas de las trayectorias que ingresan a Chiapas y sur de la península de Yucatán, no lo hacen por el litoral sino a través de las fronteras con Guatemala y Belice, sitios por los que dichos ciclones tropicales tuvieron sus incidencias directas desde el mar.

AFECTACIÓN POR MANIFESTACIONES DE LA PORCIÓN MEDULAR

El Cuadro 2 (en DVD adjunto) y el mapa principal presentan los resultados de la afectación por manifestaciones medulares de los ciclones tropicales sobre cada una de las cuencas consideradas, es decir la frecuencia absoluta con la que la trayectoria pasa a 100 km o menos de cualquier porción de la cuenca en cuestión. En el cuadro la contabilidad se presenta

separada por categoría de intensidad del ciclón tropical, en la figura como el conglomerado de todas. Nuevamente, para la correcta interpretación de este mapa es necesario considerar que cuencas grandes tendrán mayor probabilidad de afectación que cuencas chicas, sin que esto signifique que la incidencia por unidad de área del terreno es mayor en estas cuencas grandes. Por ejemplo los colores que presentan las cuencas de los ríos Bravo, Balsas y Grijalva-Usumacinta son manifestaciones de esto. Las cuencas inmediatamente al sur de la cuenca del Balsas tienen, por km² de área, mayor afectación que la del propio río Balsas, precisamente por ser costeras, pero son mucho más pequeñas.

AFECTACIÓN POR MANIFESTACIONES MÁS PERIFÉRICAS

En forma completamente similar, el Cuadro 3 (en DVD adjunto) y la Figura 2 muestran los resultados de afectación más periférica por cada cuenca, esto utilizando una proximidad de 300 km del ciclón tropical sobre cualquier parte de la cuenca. Los resultados son muy similares a los de la sección previa. Sin embargo, cabe destacar que ahora la costa Pacífico sur de México incrementa su incidencia relativa, precisamente por la gran cantidad de ciclones tropicales que pasan por el mar con trayectorias cuasi-paralelas a la costa y a distancias mayores que 100 km del litoral. En general no manifiestan efectos medulares de los ciclones, pero sí efectos periféricos claramente identificables y de hecho muy importantes para la climatología de lluvias de la zona.

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y DE ADAPTACIÓN EN CUENCAS

Desde el punto de vista de la cuenca completa, la medida más importante de prevención de desastres disparados por ciclones tropicales, es la de mantener la red de drenaje natural tan

intacta como sea posible, especialmente en términos de su capacidad de conducción de caudales sin rebasar lo que se consideran los márgenes del cauce. Es aquí donde aparece un concepto frecuentemente olvidado en nuestro medio: que la llanura de inundación alrededor de cada cauce es una parte importante del mismo y que determina en gran medida el comportamiento de la cuenca ante avenidas extraordinarias. Funcionalmente, esta llanura de inundación mantiene la capacidad de conducción del cauce sin sobre-elevar de manera importante los tirantes de agua. La actividad humana moderna, frecuentemente, ha substituido el respeto a estas llanuras de inundación con la construcción de bordos longitudinales a lo largo del cauce. Ciertamente, estos bordos pueden mantener la capacidad de conducción del cauce, pero a costa de sobre-elevar el tirante muy por arriba del nivel máximo natural original. Esto, por un lado, conduce el mismo caudal a mayores velocidades (y áreas transversales menores) que producen erosión más allá de lo natural. Por otro lado, de ser rebasado el nivel de la corona de un bordo, la posible falla y la violencia de la inundación resultan mucho mayores que en el caso natural de haber respetado las llanuras de inundación. La colocación de bordos longitudinales modifica las condiciones de flujo y tirantes tanto aguas arriba como aguas abajo de la zona protegida. Más aún, la colocación de estos bordos artificiales permite que, transcurrido un tiempo, el fondo del cauce pueda alcanzar niveles superiores al de las zonas colindantes con el mismo (precisamente porque los bordos eliminan la necesidad física del agua de fluir por las zonas más bajas). Ejemplos de esto son muy comunes, por ejemplo dentro del Valle de México. Este respeto a la red natural de drenaje (bajo condiciones extremas, no típicas) no sólo debe mantenerse a través de no invadir las llanuras de inundación en forma masiva (por ejemplo con actividad agrícola o con urbanización), sino también deben evitarse

obras que restrinjan el paso del caudal por ciertas secciones discretas del río. El ejemplo más típico es de los puentes carreteros y ferroviarios que, por razones de economía, intentan cruzar el río con el mínimo claro posible. En condiciones extraordinarias, estos claros insuficientes restringen el paso del caudal, sobreelevan el nivel aguas arriba del puente y disparan procesos de erosión no naturales aguas abajo del mismo. En caso de falla de los terraplenes de acceso a los puentes, se genera una ola de inundación de gran violencia y extrema velocidad de traslación.

El cambio del uso del suelo, produce diversos tipos de problemas a nivel de cuenca. Los suelos agrícolas tienden a producir mayor cantidad de sedimentos que los originales naturales, bajo condiciones de escurrimiento extremo. Dichos sedimentos adicionales arriban al cauce del río y bajo condiciones normales de flujo se depositan en el mismo, reduciendo la sección hidráulica del cauce y aumentando la inestabilidad lateral del mismo. La sustitución de suelos naturales por suelos urbanos aumenta dramáticamente la impermeabilidad de los mismos, incrementando la fracción de la lluvia que termina escurriendo y reduciendo los tiempos de concentración de la cuenca. El resultado final es que para suelos modificados por urbanización, el caudal pico en el cauce puede resultar mucho más alto que el caudal que, con exactamente la misma lluvia, se hubiese producido en condiciones naturales. El cambio de uso del suelo en la periferia de las poblaciones produce, bajo condiciones extremas, una gran cantidad de elementos (rocas, árboles, carrocerías de automóviles, etc.) que pueden llegar a taponar el paso bajo un puente o una alcantarilla, reduciendo en forma dramática su capacidad de conducción.

Para muchas cuencas de México, el paso cercano de un ciclón tropical representa una gran oportunidad para recargar los mantos acuíferos a niveles que su explotación rutinaria no per-

mitiría. Sin embargo, la modificación de las partes altas de la cuenca (frecuentemente con un buen nivel de infiltración natural), aumentan el nivel de escurrimiento superficial y disminuyen la recarga de los acuíferos por infiltración. Esto no solamente aumenta el peligro de un desbordamiento durante el evento, sino que disminuye el gasto base (aquél que el río lleva aún cuando no esté lloviendo) que le da sustentabilidad a la cuenca.

Siempre será mejor prevenir que adaptarse a condiciones rápidamente cambiantes. El grado de desarrollo y de densidad poblacional en las cuencas de México, obliga frecuentemente a tomar medidas de adaptación, ante la imposibilidad de regresar a condiciones suficientemente naturales y sustentables. El cambio climático global sólo aumenta las fuentes de este medio ambiente rápidamente cambiante. Ante esta realidad, existen numerosas medidas artificiales de adaptación, como los ya mencionados bordos longitudinales, la construcción de presas de almacenamiento que permiten regresar al cauce aguas abajo a condiciones de flujo más permanentes (vs. intermitentes), la insta-

lación de trampas de sedimentos en la parte alta de la cuenca, el retro-equipamiento de alcantarillas a través de los terraplenes de acceso a los puentes, la reubicación de población y actividad económica fuera de las llanuras de inundación y la recarga artificial de acuíferos, entre otros. Pero cada una de estas medidas de adaptación a nuevas condiciones de lluvia, de escurrimiento, de arrastre de sedimentos, de recarga de acuíferos, de evapotranspiración, lleva consigo no solamente la solución de algún problema sino la potencial generación de muchos otros. Por ello, su implementación útil requiere de un esfuerzo de análisis y estudio muy extenso, y resulta esencial que la visión durante este análisis sea de largo plazo y de sustentabilidad. Cada medida considerada para resolver un problema sobre un cierto punto de la cuenca debe considerar sus afectaciones a condiciones tanto aguas arriba como aguas abajo de su propia ubicación. Su diseño debe ser robusto, en el sentido de que si llegara a ser rebasada su capacidad de diseño, su falla no resulte catastrófica. Además la utilidad de muchas de

estas medidas artificiales está limitada a un cierto intervalo de tiempo después de su construcción: las presas y las trampas de sedimentos se llenan de éstos, los bordos requieren de mantenimiento para permanecer seguros, la construcción de otras medidas aguas arriba o aguas abajo modifican el régimen de flujo en el sitio original, etcétera.

Por supuesto, también existen medidas de adaptación que no son estructurales y que en general representan, ante la incertidumbre de las condiciones del medio ambiente futuro, beneficios seguros (aunque no necesariamente cuantificables con total precisión). Entre otros: el uso eficiente del agua, una agricultura y densidad de pastoreo compatibles con las capacidades (cambiantes) de la cuenca, reforestación con especies nativas (aunque considerando posibles cambios ambientales), un uso menos intensivo del suelo, ciudades energéticamente eficientes y más amigables con su entorno ambiental, etcétera. Absolutamente todas estas medidas no estructurales requieren de un elemento fundamental: la voluntad humana para cambiar.



Mapa 2. Afectación de las cuencas por ciclones que pasan a menos de 100 km.



Mapa 3. Afectación de las cuencas por ciclones que pasan a menos de 300 km.

VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y SUS EFECTOS SOBRE LAS CUENCAS DE MÉXICO

VALENTINA DAVYDOVA BELITSKAYA

INTRODUCCIÓN

MÉXICO ES UN PAÍS que se caracteriza por una gran variabilidad climática, consecuencia de su posición geográfica y una compleja topografía. Esta complejidad determina los regímenes pluviales y de temperaturas a nivel regional, lo que a su vez condiciona la dinámica de las cuencas hidrográficas de nuestro país.

Para realizar una gestión apropiada de cada cuenca es importante conocer sus parámetros climáticos así como su variabilidad natural y sus tendencias históricas. Todo esto hace posible comprender el balance hidrológico de cada cuenca y proyectar su evolución o comportamiento futuro. Estos puntos son muy importantes en materia de adaptación en gestión del agua.

Los posibles impactos del cambio climático sobre las cuencas dependen de múltiples factores tales como la orografía de la región, su ubicación (zona costera o valle, etc.), sensibilidad climática o respuesta del régimen de temperatura y lluvia, local y regional, ante la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), y especialmente por efectos antropogénicos

tales como la urbanización, la deforestación, la contaminación del agua y la sobreexplotación de acuíferos, entre otros.

Para una buena gestión del agua y preservación de las cuencas hidrográficas es importante y necesaria conocer la sensibilidad climática de la región, es decir la variabilidad climática natural y las tendencias de temperatura y de precipitación como detonantes del régimen de escurrimientos y de gastos en la cuenca.

A continuación se describe la metodología utilizada para el procesamiento de información climatológica y para la detección de señales de variabilidad climática natural, así como tendencias de temperatura y de precipitación que pueden estar asociadas a posibles efectos de cambio climático y de cambios en el microclima por factores antropogénicos.

METODOLOGÍA

La información de precipitación y temperatura a nivel nacional fue extraída de la base de datos conocida como Maya 1.0 la cual fue elaborada por una consultoría dentro del Programa de Modernización del Manejo del Agua (PROMMA) a solicitud de la Unidad

del Servicio Meteorológico Nacional (Quintas, 2004).

Esta base de datos se construyó a partir de los registros manuales y de captura de las estaciones climatológicas dentro del territorio nacional y abarca el intervalo que va del 1º de enero de 1961 al 31 de diciembre de 2000 (40 años). Incluye datos de temperatura y precipitación pluvial diaria. Su dominio abarca las longitudes -117.2° a -86.0° (longitud W) y las latitudes +14.0° a +33.0° (latitud N), con una resolución de 0.2° (tanto en longitud como latitud). Maya 1.0 es una extracción de la base de datos climatológica nacional, que se maneja con CLICOM, pero con las siguientes diferencias:

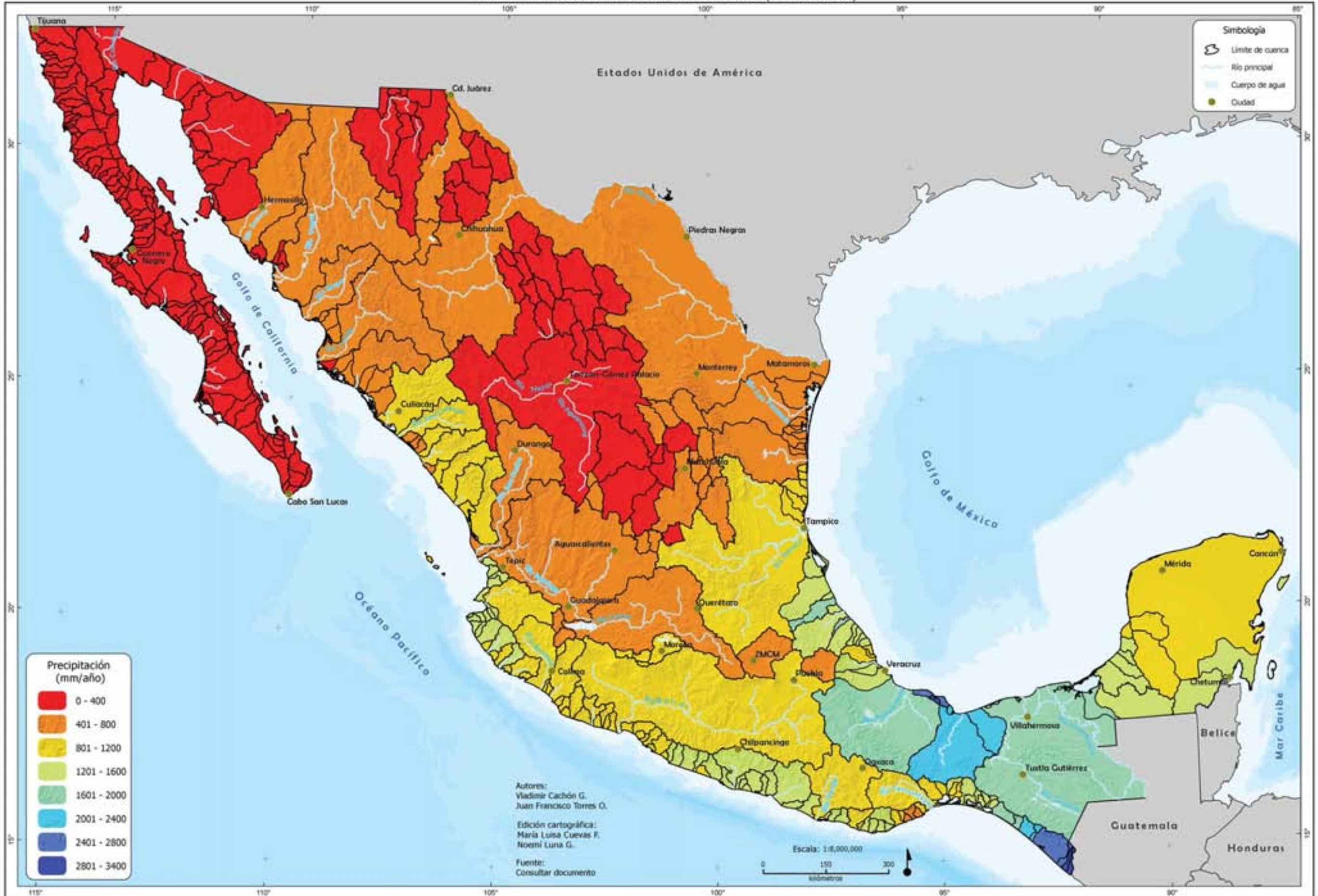
- Los valores se encuentran interpolados sobre una malla regular, la cual enfatiza los “campos” de las variables por sobre los valores puntuales originalmente medidos.
- Al ser una interpolación, la cual se realizó con el método de Kriging (referencia), no tiene “huecos” de información, es decir, no falta ningún día, ni tampoco faltan datos para ningún nodo a lo largo y ancho de la República durante los 40 años.
- Permite la identificación de sitios y días

sospechosos de contener datos erróneos en la base de datos climatológica nacional al hacer comparaciones de cada dato con los registros de las estaciones climatológicas vecinas (casos de correlación espacial entre estaciones vecinas). Los datos sospechosos son recalculados con base en los registros de las estaciones vecinas, que nunca son menos de tres, y en ocasiones se calculan hasta con 50 estaciones, es decir se establece un radio para la estación sospechosa que se conoce como distancia de peso que determina el número de estaciones utilizadas para la interpolación.

- Finalmente, el geoprocesamiento de los valores de información climatológica obtenida en nodos regulares permite calcular y asignar un valor a cada cuenca.

Es importante mencionar que a los datos usados en la creación de Maya 1.0 sólo se les aplicó un control de calidad básico o elemental, que consiste en la detección de valores sospechosos, fuera del rango de valores extremos programado en CLICOM. A las series largas de 40 años no se le aplicó el análisis de homogeneidad y verificación, y en su caso,

PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL (1940-2000)



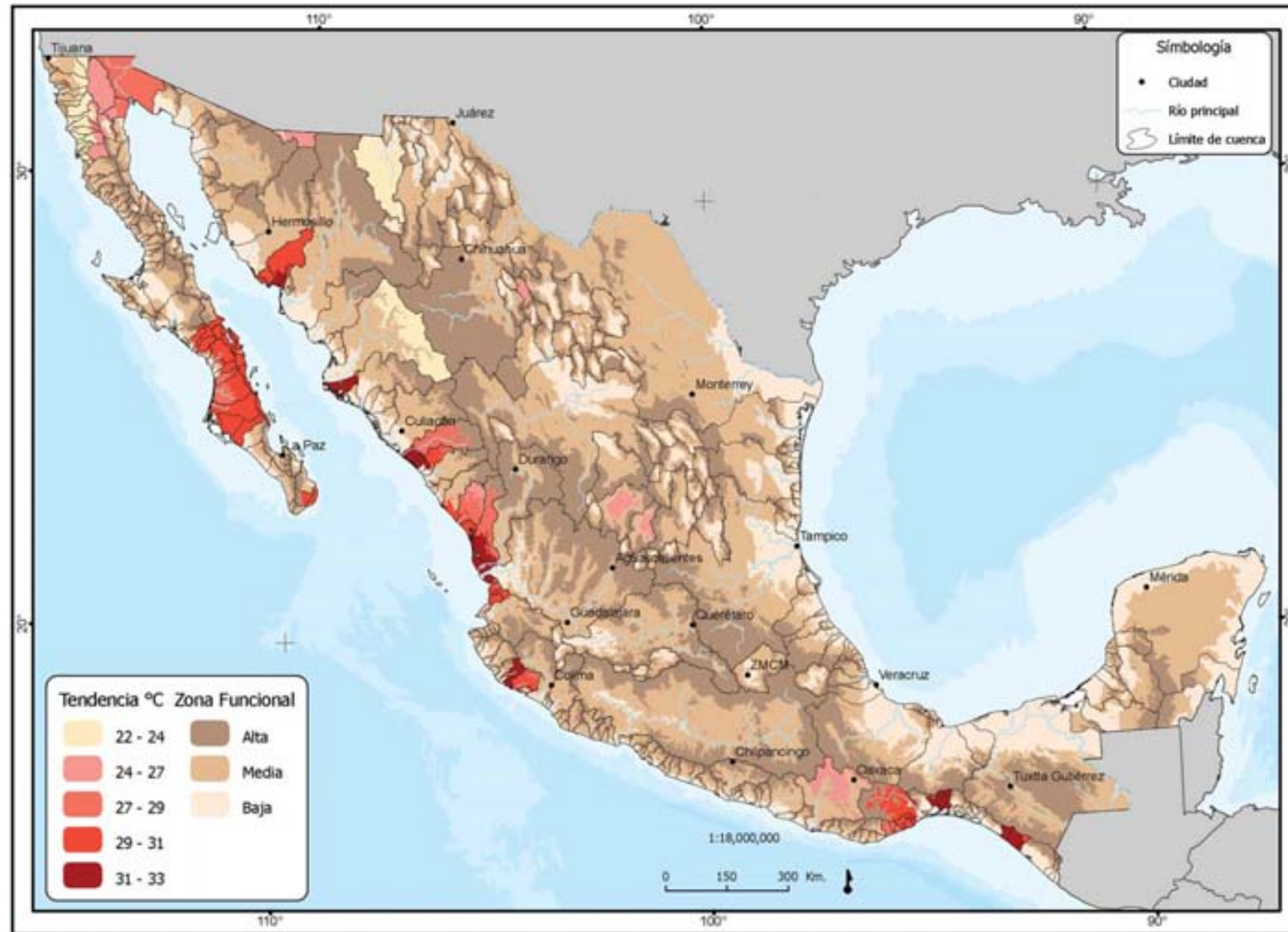


Figura 1. Tendencias de temperatura máxima por zona funcional (1961-2000).

modificación de los puntos de ruptura de la serie. Tampoco fue aplicado el análisis de correlación temporal.

Actualmente, el Servicio Meteorológico Nacional está trabajando en el control de la calidad de la Base de Datos Climatológica Nacional (BDCN), lo cual permitirá eventual-

mente actualizar el producto Maya 1.0.

La representación en zonas funcionales siguió los mismos pasos, pero los datos fueron asignados a cada zona funcional, donde se realizó un análisis de regresión lineal para determinar una tendencia de los datos (con $R^2 > 0.4$).

ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA POR CUENCA HIDROGRÁFICA

Anualmente, México recibe del orden de 1,489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De ésta, se estima que el 73.2% se evapotranspira y regre-

sa a la atmósfera, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos y el 4.7% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. En nuestro país existen grandes variaciones de la disponibilidad de agua a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano, mientras que el resto del año es relativamente seco. El 67.3% de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre (CONAGUA, 2008).

La precipitación en las cuencas de México presenta un panorama heterogéneo, donde las cuencas de la península de Baja California y las cuencas endorreicas del norte del país constituyen los territorios que reciben la menor precipitación (Mapa 1). La ubicación y orientación dominante de las cuencas localizadas en la costa del Pacífico y del Golfo de México determinan una gran variabilidad en la precipitación, creando un panorama donde se intercalan cuencas con rangos de precipitación distintos. El caso de las cuencas del Golfo de México muestra una transición clara de un ámbito ligeramente seco (hasta 800 mm) a uno más húmedo: a partir del arroyo El Cuate, al norte de la cuenca del Pánuco, se recibe una mayor humedad (de 800 a 1,200 mm). Esa tendencia se incrementa de manera heterogénea a partir del estero Cucharas hasta el río Jamapa, en el estado de Veracruz, incrementándose de manera clara en las cuencas de los ríos Coatzacoalcos, Tonalá y las cuencas costeras adyacentes. Las cuencas que han recibido mayor precipitación (de 2,801 a 3,400 mm/año) son Tonalá, Temoloapa, Olapa, La Palma y Prieto (en la zona costera del estado de Veracruz), Suchiate y Cahocan (estado de Chiapas).

A rasgos generales, la temperatura máxima anual promedio (Mapa 2 en DVD adjunto) presenta un patrón distintivo, donde los valores más elevados se ubican a lo largo de las cuencas ubicadas en las zonas costeras. Una situación inversa presenta la temperatura mínima anual promedio (Mapa 3 en DVD adjunto),

donde sus extremos son visibles en las cuencas endorreicas del norte y centro del país, con el valor extremo en la cuenca del lago Babicora, en el estado de Chihuahua.

ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE TEMPERATURA MÁXIMA POR ZONA FUNCIONAL¹

Las series largas de datos de precipitación y temperatura permiten detectar las tendencias de éstas en el tiempo y además permiten representar los diferentes regímenes de las cuencas. Con el procesamiento de los datos de temperaturas máximas y mínimas se obtuvieron los promedios anuales por zonas funcionales, a partir de los cuales se generó un análisis de regresión lineal con el que se determinó la recta (o la curva) que mejor se ajustaba al comportamiento de los valores anuales. Se seleccionaron aquellas zonas funcionales en las que el valor del coeficiente de determinación (R) era mayor a 0.4 para establecer, de esta forma, cuáles presentaban una tendencia positiva hacia el aumento de la temperatura máxima (Figura 1). Como resultado de los últimos 40 años, esta variable registró un incremento en las zonas medias y bajas de varias cuencas situadas en la península de Baja California, desde el sur de la cuenca Santa Rita a la cuenca Santa Gracia, así como La Laguna y El Peyote, en el extremo sur de la península. Varias cuencas costeras también mantienen esta tendencia, como río Matape, en el estado de Sonora; estero La Inicial, bahía Ohuira y río San Lorenzo, en Sinaloa; río Acaponeta y Baluarte entre Sinaloa y Durango, así como varias zonas funcionales de cuencas a lo largo del Pacífico.

PERSPECTIVAS Y RETOS

Actualmente se cuenta no solamente con la información generada y recopilada en las estaciones climatológicas, sino además con una gran variedad de metodologías que permiten

analizar y obtener resultados que son aplicables directamente en muchos ámbitos. Sin embargo es imperativo que antes de aplicar cualquier método y análisis a la información, los datos sean tratados adecuadamente, en términos de control de calidad y homogeneidad. Sin esta fase previa, los datos podrían proporcionar resultados falsos, exagerados o en el mejor de los casos ocultar las tendencias físicas reales de la variabilidad y de los posibles efectos del cambio climático, con lo que cualquier estrategia de gestión del agua no será funcional.

En este contexto, uno de los principales retos consiste en desarrollar una red de referencia de estaciones climatológicas, cuyas series hayan sido sometidas a un control de calidad riguroso así como a procesos de homogeneización. Esto permitirá en primer lugar, establecer en forma operativa, para todo el territorio nacional, regiones climáticamente equivalentes para posteriormente realizar análisis sobre la variabilidad climática y posibles tendencias de cambio climático en cada una de ellas por separado.

Estos análisis permitirán, entre otras muchas cosas, proveer herramientas versátiles para la creación de estrategias de desarrollo de gestión del agua en forma eficiente, pues proporcionarán elementos de juicio sólidamente basados en observaciones confiables.

Por el otro lado, es muy importante incrementar la red de observación hidrométrica para complementar los estudios de eventos de crecidas, avenidas y escurrimientos extraordinarios en función de la intensidad de lluvias que se registran en diferentes partes de las cuencas hidrográficas. Este estudio es vital en materia de adaptación a los posibles impactos de cambio climático en los países vulnerables como es México.

¹ Sólo se encontró una tendencia estadísticamente clara para esta variable.

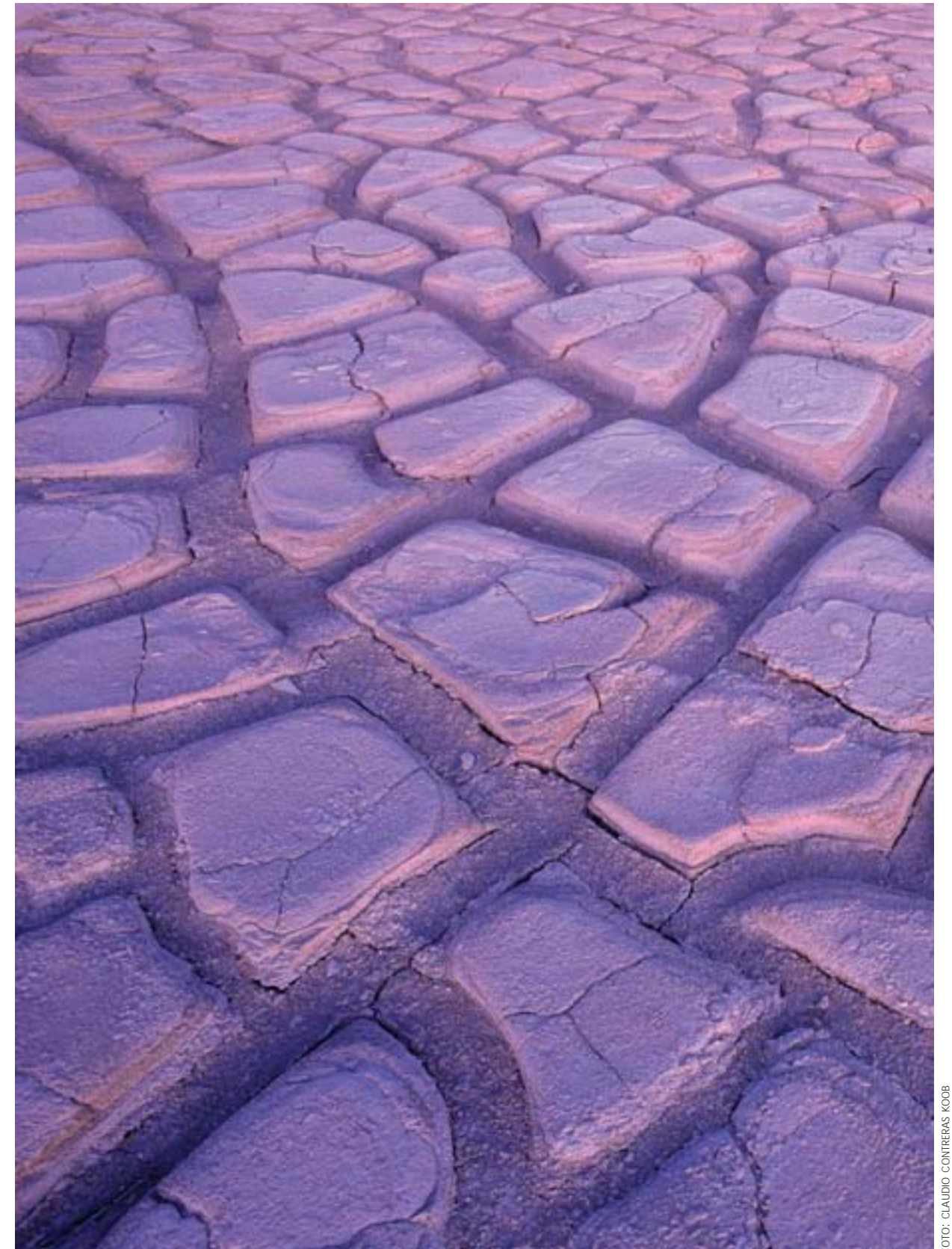


FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

PELIGROS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

CARLOS ENRÍQUEZ GUADARRAMA, ORALIA OROPEZA OROZCO Y MARIO ARTURO ORTIZ PÉREZ

INTRODUCCIÓN

LOS PELIGROS DE ORIGEN NATURAL que ocurren en nuestro planeta están asociados a procesos geológicos, geomorfológicos e hidrometeorológicos. En la medida de los conocimientos que se tengan sobre ellos se pueden prevenir y mitigar sus efectos sobre el medio ambiente y las actividades del hombre, aunque nunca se pueden evitar.

El objetivo de este trabajo es determinar las cuencas hídricas con mayor susceptibilidad a ser afectadas por la ocurrencia de fenómenos de origen geológico-geomorfológico que en un determinado momento pueden causar un desastre.

Se analizan tres tipos de peligros: las inundaciones, la inestabilidad de laderas y los hundimientos de terreno, teniendo a la cuenca como unidad espacial de referencia, toda vez que los complejos procesos que en ella se presentan y se generan en las partes altas de la misma tienen repercusiones en las partes bajas.

Los resultados del análisis se representan en documentos cartográficos para tener una visión objetiva de su distribución y áreas sus-

ceptibles de afectación, de manera que puedan servir como una medida preventiva para facilitar a los tomadores de decisiones la planeación del territorio, en particular a nivel de cuencas hídricas.

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La zonificación de los peligros, inundaciones, inestabilidad de laderas y hundimientos del terreno que en este estudio se presentan fueron retomados del *Mapa de Peligros Geológico-geomorfológicos* que el Instituto de Geografía realizó para el INE en 1996. El trabajo se llevó a cabo a escala 1:250,000 y la escala de representación fue de 1:1,000,000.

Para la elaboración del mapa anterior, básicamente se aplicaron dos tipos de métodos a fin de evaluar dichos peligros: los tradicionales y los de percepción remota. Ambos son complementarios a la vez. Los criterios tradicionales de evaluación que se tomaron en cuenta para la identificación de los peligros fueron: topografía y pendiente del terreno, geomorfología, geología, características de los suelos (humedad),

hidrología (densidad de drenaje), densidad de la cobertura vegetal y características climáticas (precipitación). Esta información se apoyó en la cartografía temática de INEGI; además, en la utilización de espaciogramas (INEGI, 1995) y, en algunos casos, fotografías aéreas para afinar los límites de las áreas de peligro.

A partir de la información señalada —útil para esta temática—, se ha ido actualizando la cartografía de los peligros, en particular de las áreas susceptibles a inundación, desde el mapa de “Peligros hidrometeorológicos” del *Atlas Regional del Istmo de Tehuantepec* (Sánchez y Oropeza, 2003), hasta el mapa de “Zonas susceptibles a Inundaciones” del *Nuevo Atlas Nacional de México* (Oropeza y Enríquez, 2007). En este último se incluyó información hemerográfica, estadística y bibliográfica.

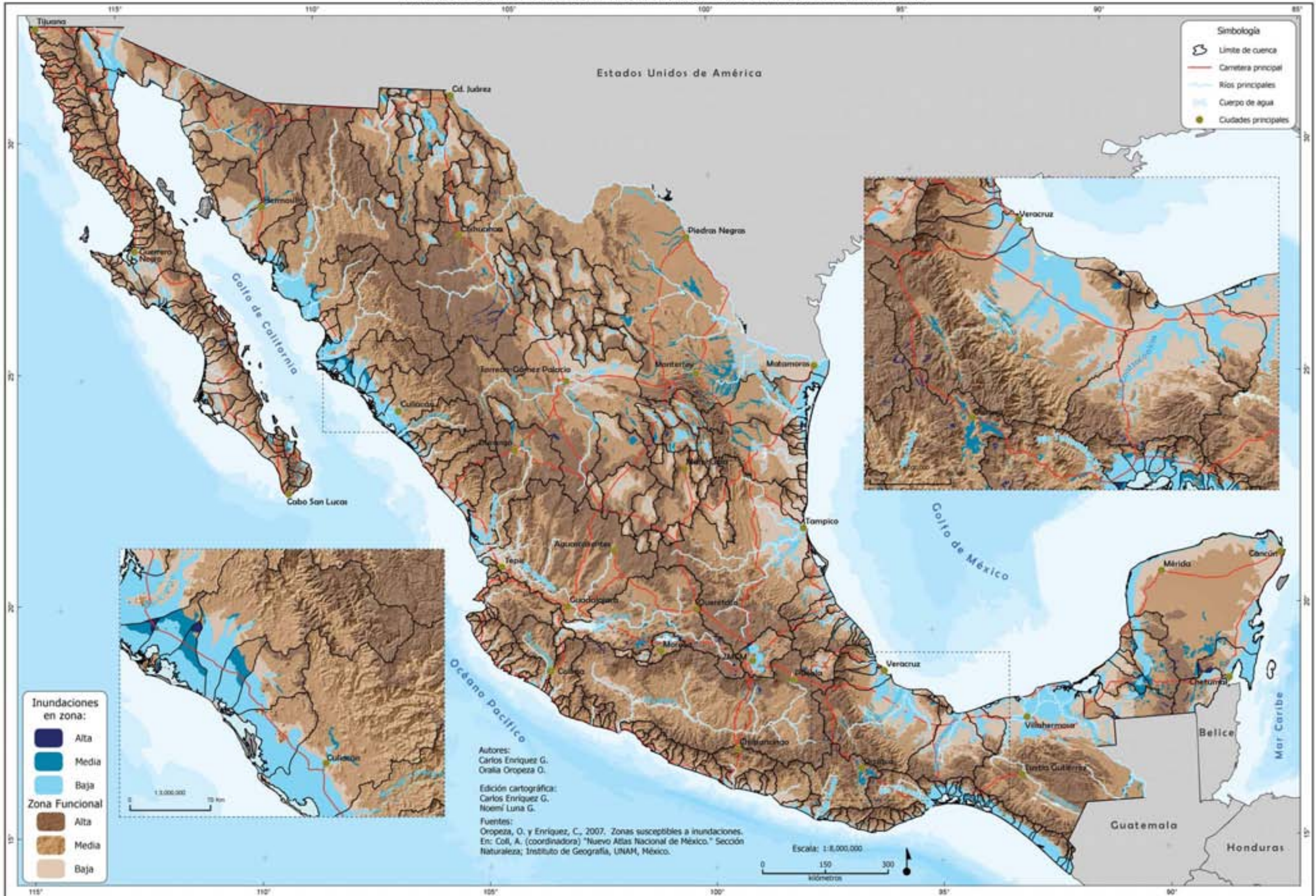
La información hemerográfica se recopiló del acervo del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y de la base de datos *Desinventar sección México* proporcionada por el Centro de Investigaciones Sociales y Estudios Superiores en Antropología Social CIESAS, (La Red, 2004).

INUNDACIONES

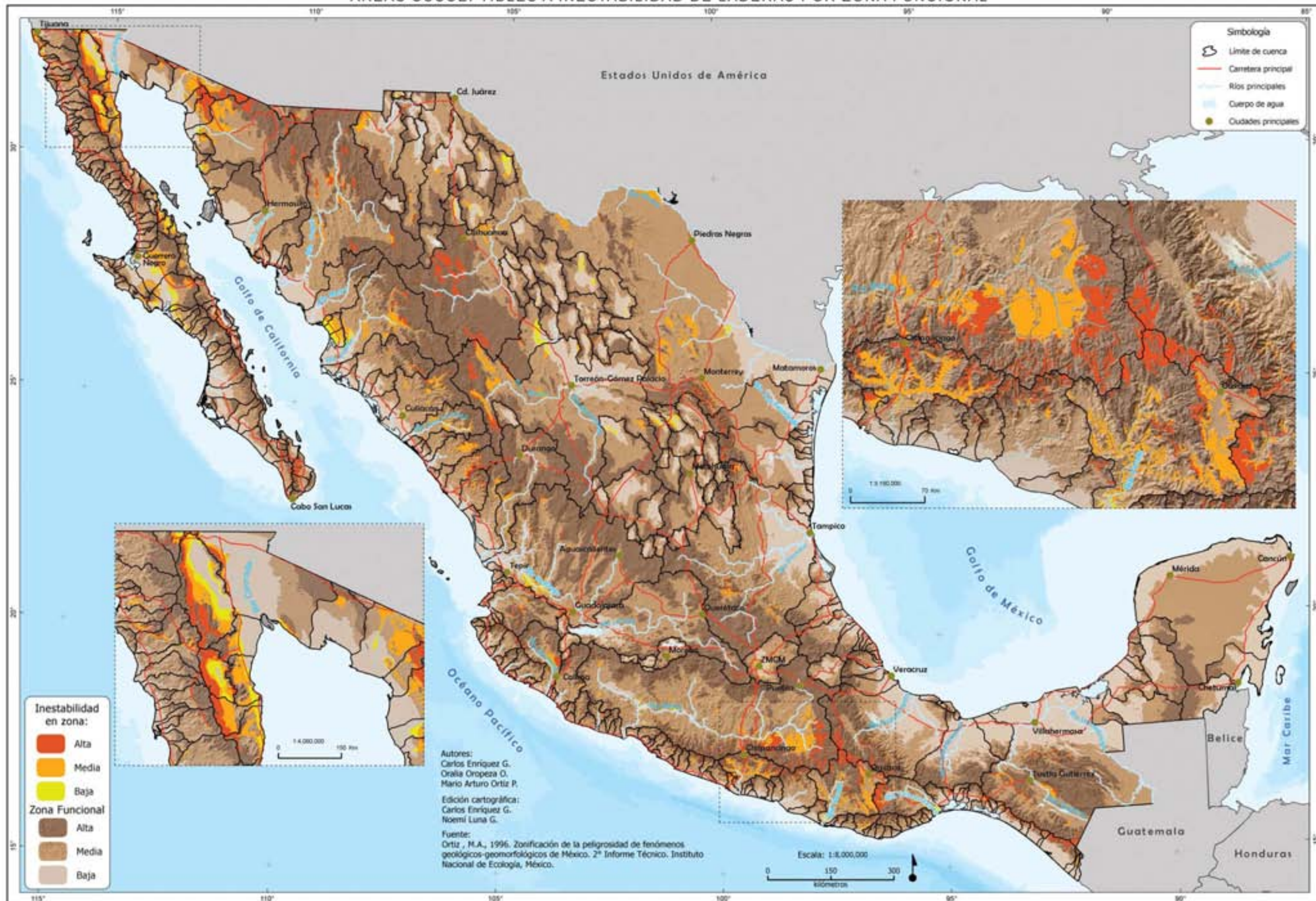
Anualmente, más del 50% de los desastres que ocurren en el país son desencadenados por fenómenos de origen hidrometeorológico. Destacan los huracanes y otros tipos de lluvias torrenciales, las inundaciones, las sequías, heladas y granizadas, entre otros (Oropeza, 2008). Esto, aunado al incremento de una sociedad más vulnerable, causa pérdidas de vidas, destrucción de viviendas e infraestructura, así como inestabilidad de las actividades económicas y deterioro ambiental.

En el caso de las inundaciones, las evidencias han sido más frecuentes en los últimos años; baste citar como ejemplo las lluvias del 2005 provocadas por el huracán Stan y en 2006 las fuertes precipitaciones que nuevamente inundaron las regiones de sierra y costa de Chiapas. También en el 2006 se presentaron las inundaciones en Baja California Sur y las costas de Sinaloa y no se deben olvidar las inundaciones en la ciudades de Villahermosa, Cárdenas y otras más, en el estado de Tabasco, que durante el 2007 y 2009 causaron impor-

ÁREAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES POR ZONA FUNCIONAL



ÁREAS SUSCEPTIBLES A INESTABILIDAD DE LADERAS POR ZONA FUNCIONAL



tantes pérdidas económicas en las actividades productivas de la región y daños a la infraestructura en general.

De acuerdo a su origen, las inundaciones que ocurren en nuestro país se clasifican en varios tipos, entre las que destacan:

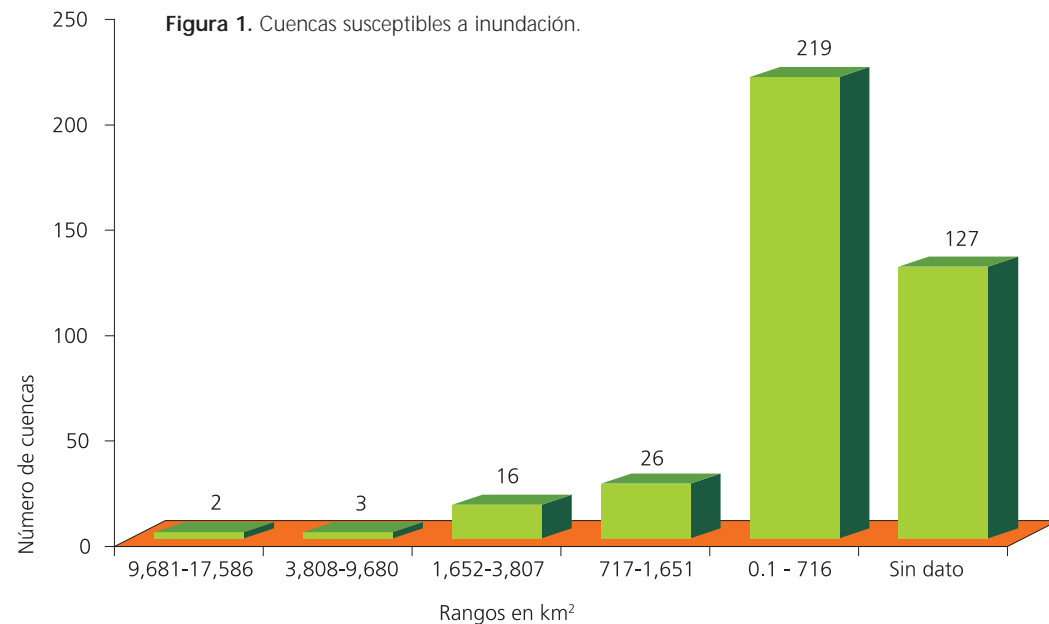
- Pluviales, debido al efecto directo de precipitación: orográficas, convectivas y ciclónicas.
- Fluviales, por desbordamientos de ríos, arroyos, y cauces en general.
- Torrentes, escurrimientos estacionales en laderas de pendiente pronunciada que provocan inundaciones de explayamiento radial, muy frecuentes en el norte del país.
- Costeras, relacionadas con el ascenso del nivel medio del mar, mareas de tormenta y oleaje.
- Inundaciones especiales, cuando se presentan por la ruptura de bordos, diques y presas o por las descargas de agua de los embalses, (SEGOB-CENAPRED, 2000, SEGOB-CENAPRED, 1994, DDRMA-OEA, 1993).

En el mapa de áreas susceptibles a inundación se puede observar que la zona funcional baja de las cuencas es la que presenta mayor superficie susceptible a inundación, alcanzando

hasta el 73% a nivel nacional. Destacan la llanura costera del Golfo de México, la costa chiapaneca, la costa norte de Sinaloa y sur de Sonora; mientras que las partes medias y altas de las cuencas presentan poca o nula superficie a inundarse con el 23 y 3% respectivamente.

De un total de 24,655,613 habitantes que son susceptibles a ser afectados por estas áreas sujetas a inundación, el 65% se localiza en las partes bajas, mientras que el 31% se ubica en las partes medias y sólo el 3% en las zonas altas, por lo que se debe poner especial atención en aquellas zonas con mayor densidad de población ubicadas en las zonas bajas de las cuencas.

La superficie susceptible a inundación a nivel nacional es de 157,324 km², siendo tres las cuencas que presentan las mayores áreas: río Bravo (17,585.6 km², 8%), Grijalva-Usumacinta (14,917.5 km², 17%) y península de Yucatán (9,680.6 km², 12%) (Figura 1). Por otra parte, las cuencas con menor superficie susceptible se concentran dentro del rango de 1 a 716 km², con un total de 219 cuencas, las cuales se distribuyen en la península de Baja California, costa del Océano Pacífico, costa norte del Golfo de México y en el norte y centro del país.



INESTABILIDAD DE LADERAS

La inestabilidad de laderas es el evento geomorfológico más común que se presenta prácticamente en todas las geoformas con una inclinación significativa del terreno. Se puede clasificar en: reptación, soliflucción, flujo de suelos, deslizamientos de detritos o debris y de rocas, y desprendimientos de material, como caídas y aludes de rocas.

La frecuencia y la intensidad de estos procesos dependen fundamentalmente del ángulo de inclinación y la morfología de las laderas, el ángulo de reposo del material, la consolidación y el grado de fracturamiento de éste, las condiciones locales de sismicidad y las condiciones climáticas. Estos tipos de movimientos son propios de la naturaleza; sin embargo, a través de sus actividades, los seres humanos ha intervenido disparando o acelerando los mecanismos y condiciones que los generan. Los procesos de ladera que modifican el relieve se caracterizan por ser lentos y en ocasiones imperceptibles, o súbitos y violentos con consecuencias desastrosas.

En el país, las características del relieve, climatológicas y geológicas son propicias para el desarrollo de los movimientos de masa. No obstante, éstos se han incrementado de manera alarmante en la actualidad debido a la deforestación, la erosión, la alteración del drenaje y el asentamiento de los habitantes en sitios inadecuados para construir sus viviendas (SEDESOL-Instituto de Geografía, 2000).

A diferencia de las áreas susceptibles a inundación que predominaban en las partes bajas con poca inclinación del relieve, las zonas propensas a inestabilidad de laderas se concentran en áreas con una pendiente pronunciada, como es el caso de la parte media y alta de las cuencas.

Son pocos los documentos cartográficos que se han elaborado acerca de esta temática, entre los que destaca el mapa de “Distribución de procesos de remoción en masa y desastres aso-



FOTO: ALVARO FIGUEROA

ciados en México (1920-2006)", en el *Nuevo Atlas Nacional de México* (Alcantara *et al.*, 2007). En éste, sólo se identifican los municipios que han presentado el fenómeno; otro documento con información a nivel estatal es el *Atlas Nacional de Riesgos* (SEGOB-CENAPRED, 2001). De ahí la importancia del documento cartográfico que se presenta en este trabajo, ya que en él se muestran las zonas de potencial peligro por cuencas hidrográficas y no por entidades federativas. Sin embargo, dada la escala espacial utilizada, estos peligros se encuentran sub-representados.

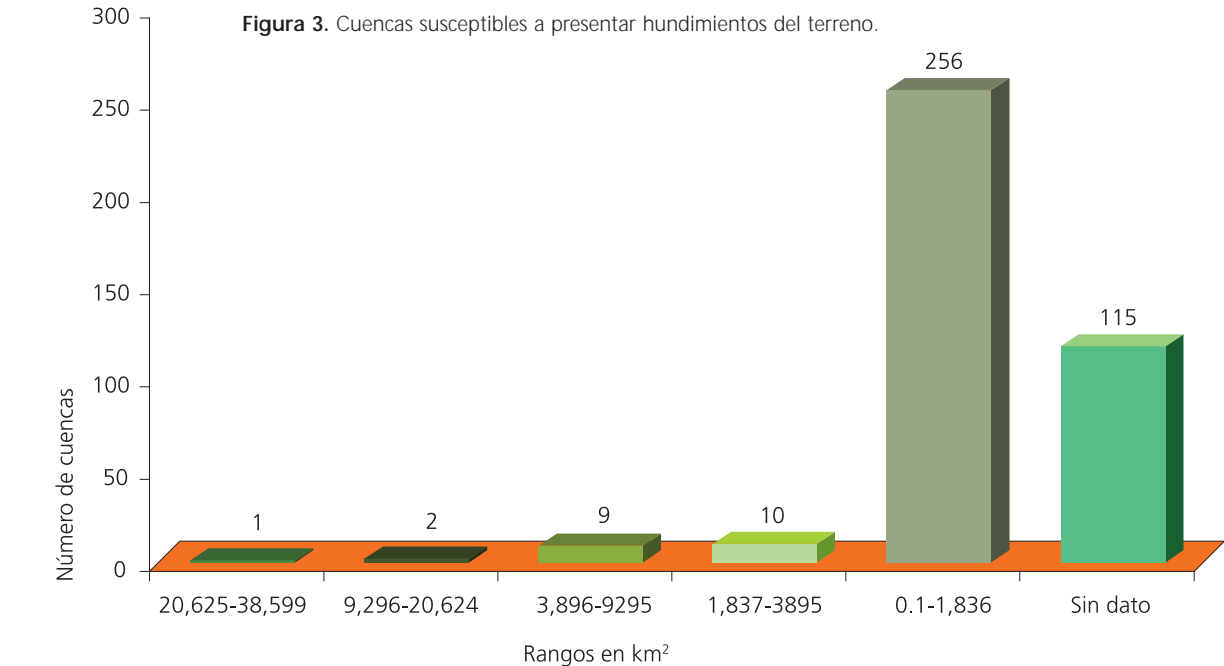
En el mapa de inestabilidad de laderas, estos eventos son más comunes en las zonas montañosas, como la Sierra Madre del Sur, el norte de la península de Baja California y la Sierra Chiapaneca, entre otras. Más del 89% de las áreas susceptibles a inestabilidad de laderas se localizan en las zonas funcionales media y alta de las cuencas, mientras que sólo un 11% de estas áreas se ubican en partes bajas que corresponderían a relieve poco abrupto y de poca pendiente (Figura 2).

De un total de 5,215,000 habitantes susceptibles a ser afectados por este peligro, el 70% de

esta población se ubica en zonas funcionales alta y media, lo cual hace necesario la elaboración de estudios relacionados con la ubicación espacial, prevención y mitigación de esta amenaza.

HUNDIMIENTOS DEL TERRENO

El peligro por hundimiento es la probabilidad de movimiento vertical, por acción y efecto de la gravedad, que afecta y desplaza el suelo, el terreno o algún otro elemento de la superficie terrestre. El hundimiento del terreno puede tener su origen por el colapso de cavernas en rocas calcáreas, al cual se le denomina hundimiento cárstico; por compactación de materiales granulares o hundimiento diferencial, por la presencia de fallas geológicas o hundimiento tectónico o, por otros factores como la actividad humana (Olcina y Ayala, 2002, citado en SGM, 2005). Este fenómeno responde a factores geológicos (isostasia, actividad tectónica, reducción de la masa magmática en regiones volcánicas, compactación de sedimentos, contracción y expansión de materiales arcillosos por cambio de humedad en los suelos), así como a la actividad



antropica (extracción o pérdida de agua o hidrocarburos, sobrecarga de infraestructura, abatimiento de los niveles freáticos). A este fenómeno se asocian otros como inundaciones, sedimentación abundante, mal drenaje, erosión de costas, intrusiones salinas y salinización de suelos y acuíferos. Asimismo constituyen una amenaza por los problemas de contaminación y rupturas o fallas en la infraestructura urbana (Ortiz, 1996).

La distribución espacial de las áreas susceptibles a hundimientos del terreno por zona funcional a nivel nacional, coincide con algunas áreas susceptibles a inundaciones, como se puede observar en la cuenca de la península de Yucatán, que presenta una superficie de afectación potencial de casi el 50% de su territorio, y en las cuencas de Usumacinta-Grijalva y río Bravo, cuyos hundimientos se extienden hasta el 19% y 10% de su territorio respectivamente y también son susceptibles a inundaciones, mientras que en la gran mayoría de las cuencas restantes (256) su porcentaje es mínimo (Figura 3).

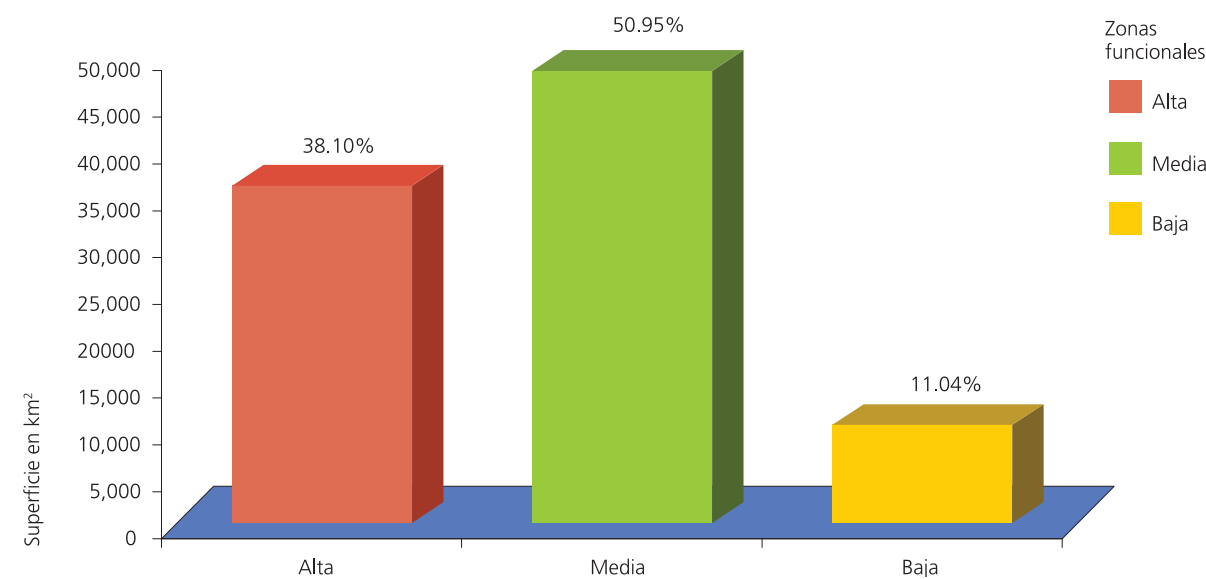
La zona funcional baja tiene un mayor porcentaje de áreas sujetas a hundimientos

(52%), mientras que la zona media y alta presentan 35% y 12% respectivamente. Un total de 17,682,789 habitantes se ven afectados por este peligro, y son nuevamente las partes baja y media las que concentran el 88% de la población total, con el 57 y 31% respectivamente.

Para efectos de manejo de la información, se han tratado por separado las inundaciones, la inestabilidad de laderas y los hundimientos; sin embargo, en la naturaleza, estos fenómenos no solamente se manifiestan de manera aislada sino también concatenados, es decir, la ocurrencia de uno de ellos desencadena o facilita los otros. Por ejemplo, un deslizamiento puede bloquear un cuerpo de agua y éste a su vez, desbordarse y provocar una inundación en una zona de hundimientos. Tal como sucedió con el cauce del río Grijalva en el 2007, cuando un gran deslizamiento provocó inundaciones en Chiapas y Tabasco y prácticamente desapareció parte de la comunidad de Juan de Grijalva en esa primera entidad.

El enfoque de cuencas facilita la comprensión de los diversos peligros o amenazas tratadas en este apartado y permite dar una visión

Figura 2. Áreas susceptibles a deslizamientos de tierra en cuencas hídricas por zona funcional.



ÁREAS SUSCEPTIBLES A HUNDIMIENTOS DEL TERRENO POR ZONA FUNCIONAL

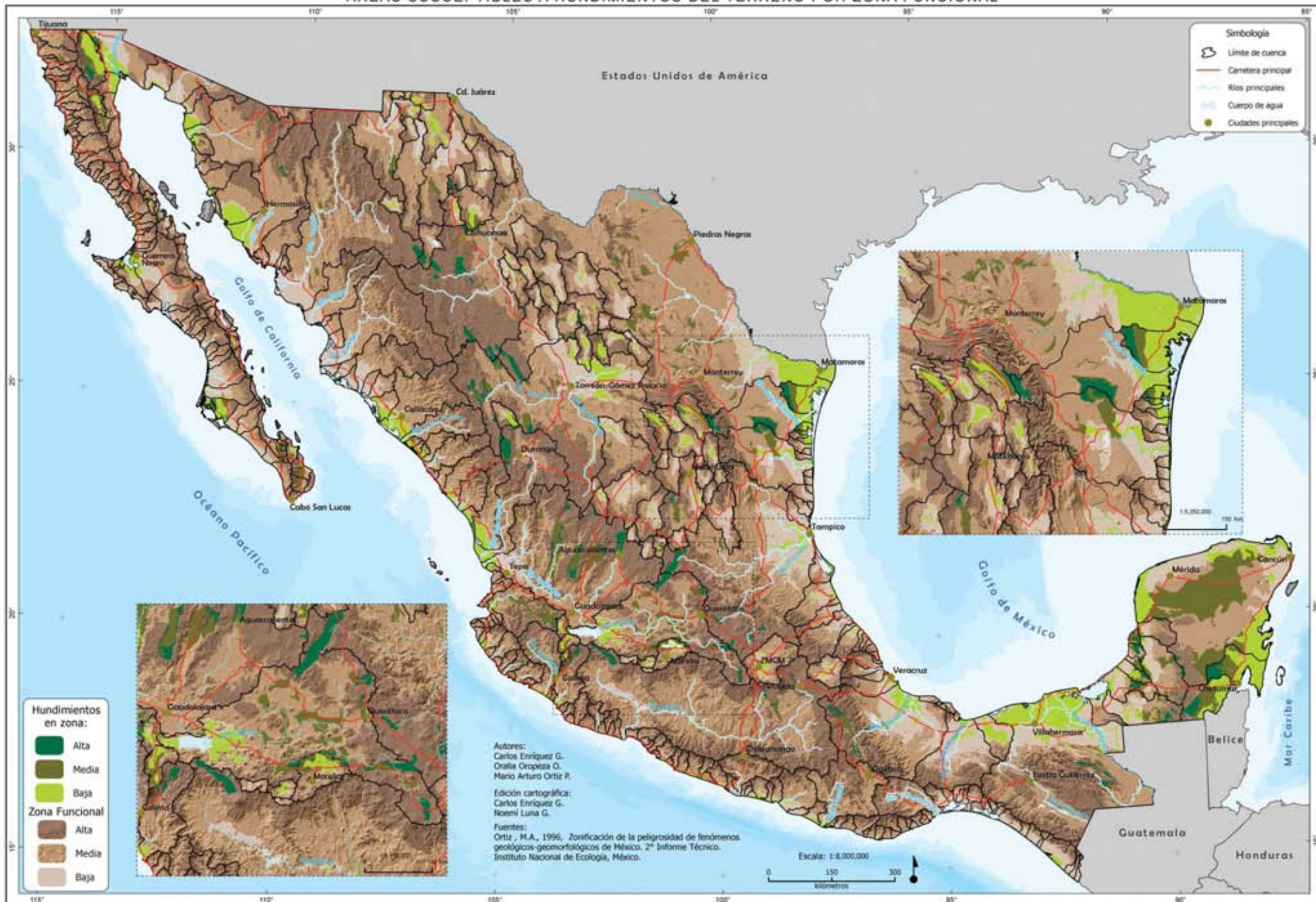
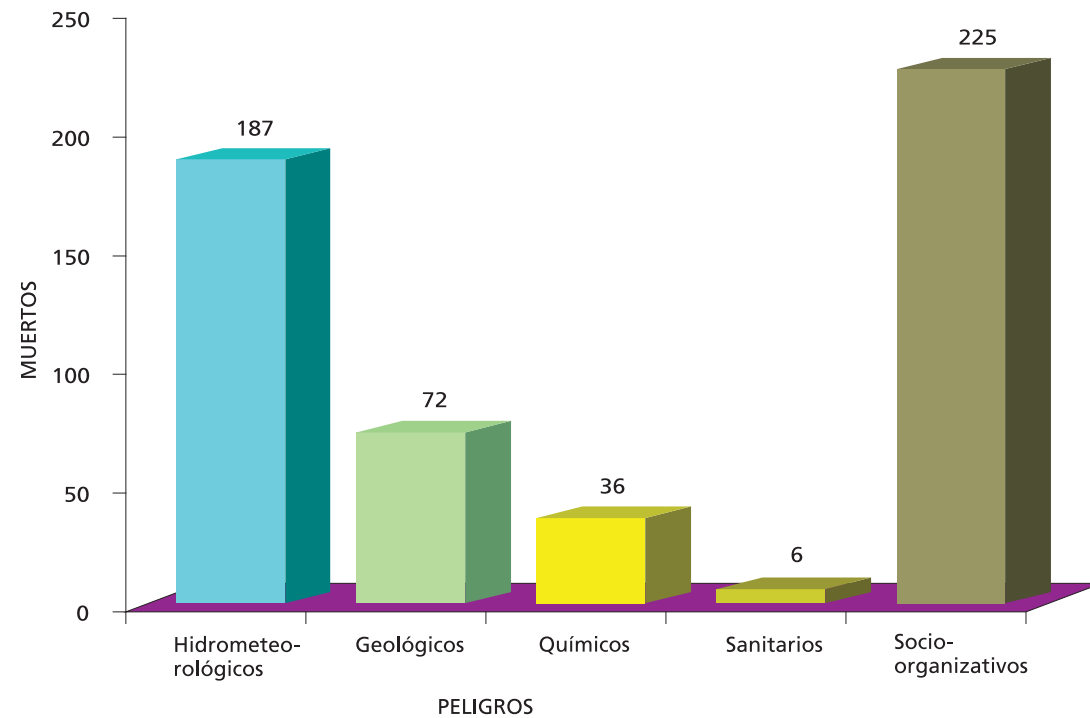


Figura 4. Número de defunciones ocasionadas por desastres en 2007. Fuente: SEGOB-CENAPRED, 2009.



sinóptica de su distribución espacial en relación con las zonas funcionales que integran las cuencas. Si bien los resultados son de carácter general, sirven para seleccionar las cuencas que necesitan atención prioritaria a fin de prevenir y mitigar los efectos sobre la población, sus bienes, actividades, infraestructura y medio ambiente. Al respecto, las cuencas de atención prioritaria son: península de Yucatán, Grijalva-Usumacinta, Bravo, Pánuco y Balsas.

Además, es fundamental que a través del manejo de cuencas se incluya la gestión de riesgos ante diversos eventos extremos —cuyos impactos sobre las comunidades y asentamientos humanos pueden disminuirse debido a que la cuenca ofrece al mismo tiempo una barrera natural y operativa, en la que se conjugan los recursos agua, suelo, vegetación y otros más— bajo un enfoque integral (social, económico y ambiental).

Las modificaciones que los seres humanos han generado en las cuencas, a través de sus

actividades productivas, tienen graves repercusiones en el ambiente, pues provocan que los fenómenos analizados se presenten cada vez con mayor frecuencia e intensidad. Su dimensión y consecuencias no solamente abarcan la escala local sino también la regional e incluso la planetaria, como es el cambio climático. Asimismo, es evidente que los fenómenos señalados ocupan un lugar preponderante en las estadísticas sobre los desastres ocurridos en el país. Tan sólo para el año 2007, destacan los fenómenos hidrometeorológicos (entre ellos las inundaciones y los huracanes) y los geológico-geomorfológicos (principalmente inestabilidad de laderas) con el 97% y 2.1% en cuanto a pérdidas económicas y con 187 y 72 decesos respectivamente, como se muestra en la Figura 4 (SEGOB-CENAPRED, 2009). En tanto, los peligros de carácter antrópico no alcanzan el 1% en pérdidas económicas, aunque en conjunto, los decesos superaron ligeramente las cifras mencionadas (267).

ESTUDIO DE CASO: INUNDACIÓN DE TABASCO EN NOVIEMBRE DEL 2007

MARIO ARTURO ORTIZ PÉREZ, ORALIA OROPEZA OROZCO, CARLOS ENRÍQUEZ GUADARRAMA

EN EL TERRITORIO DE MÉXICO cada año ocurren severas inundaciones, producto de la combinación de factores naturales y sociales que se reúnen desatando súbitas avenidas de magnitud considerable, muchas de las cuales no tienen precedente histórico y que seguramente seguirán ocurriendo en el futuro. Esto debido, principalmente, a la modificación de los sistemas naturales. Esta situación fue patente en la llanura fluvio-lacustre del Golfo de México, donde ecosistemas de selvas y humedales fueron modificados a agrosistemas silvopastoriles, dedicados a la ganadería extensiva. La tala excesiva de la vegetación arbórea en la parte alta y media de la cuenca, así como la construcción de infraestructura urbana en la parte baja, modificaron la tasa de infiltración que alimenta la recarga de los acuíferos favoreciendo una mayor escorrentía superficial y por ende mayor concentración del caudal hídrico en los cuerpos receptores.

En el caso que nos atañe, las causas directas de la inundación ocurrida en noviembre de 2007 en la planicie de Tabasco se explican por la presencia de altas precipitaciones como resultado del choque y estacionamiento de un frente frío y una onda tropical. La pluviosidad sobre la cuenca Grijalva-Usumacinta se estimó en 962 mm del 28 al 30 de noviembre (SEGOB-CENAPRED, 2009) lo cual propició una intensidad extraordinaria de las lluvias. Esto se suma a otro factor directo, el de la acción humana, derivado del manejo inadecuado —durante los periodos críticos— del flujo de la crecida, del alto nivel del agua y de la falta de control del exceso del caudal que llegaba a las presas que integran este sistema. Lo anterior, se conjuga con los factores indirectos relacionados con la morfometría de la cuenca hidrográfica, la geología y en particular con la geomorfología fluvial.

El río Grijalva guarda condiciones especiales inherentes a su trayectoria, pues una vez que el río deja atrás el lecho encañonado de las montañas del norte de Chiapas y la presa de Peñitas, recibe el

drenaje que proviene de las laderas del reciente volcán Chichonal, cuya erupción del año de 1982 cubrió de cenizas los lechos de barrancos y las porciones bajas de numerosas terrazas estructurales de origen tecto-volcánico.

La pérdida de pendiente del terreno, debida al fuerte control estructural de la geología, aunada a la importante carga de sedimentos en suspensión y de arrastre que trae el río y al alto flujo hídrico durante este evento, dificultó el desagüe eficiente, retardando el flujo en el curso bajo, favoreciendo la duración del estancamiento del agua y, por tanto, la inundación.

Aunque año con año se presentan inundaciones en la planicie tabasqueña, la de 2007 fue extraordinaria. Se vieron afectados 17 municipios del estado, con daños socioeconómicos estimados en 14,067.80 millones de pesos. La inundación cubrió más del 62% de la superficie estatal, afectando cerca de 1,500 localidades. Hubo casi un millón y medio de damnificados y 123,000 viviendas dañadas (SEGOB-CENAPRED, 2009).

Por las características fisiográficas de la planicie tabasqueña, la influencia de los cambios de temperatura y del nivel medio del mar la convierten en una zona de alta vulnerabilidad. Los escenarios esperados como respuesta al cambio climático sugieren mayor incidencia de inundaciones, huracanes y variaciones en la línea de costa.

Las acciones para prevenir y mitigar este tipo de fenómenos se deben contemplar en el marco global de la gestión de riesgos, con la participación de los diferentes órdenes de gobierno y de todos los sectores de la población.

REFERENCIA:

SEGOB-CENAPRED, 2009. *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana, en el año 2007*. Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México, CENAPRED, México.



LA DISPONIBILIDAD NATURAL DE AGUA EN LAS CUENCAS DE MÉXICO¹

VERÓNICA BUNGE

LA DISPONIBILIDAD NATURAL de agua representa el volumen de agua neto por año existente en un territorio. A nivel nacional, ésta se calcula a partir de la suma de la precipitación y el volumen de agua escurrido proveniente del extranjero, menos el volumen correspondiente a la evapotranspiración y el que escurre a otros países (CONAGUA, 2008).

Disponibilidad natural media = (Pp + Importaciones) – (Et + Exportaciones)

Pp: precipitación. **Importaciones:** agua que escurre al territorio nacional proveniente de otros países. **Et:** evapotranspiración. **Exportaciones:** agua que escurre del territorio nacional hacia otros países.

Recientemente, en la publicación *Estadísticas del agua en México, edición 2010*, editada por CONAGUA, apareció el concepto de *aguas renovables* para referirse justamente a la disponibilidad natural de agua. La idea de incorporar este concepto obedece, por un lado, a la necesidad de recalcar que se hace referencia al volumen de agua que año con año se renueva vía precipitación, y por otro lado, diferenciar la “disponibilidad natural” de la “disponibili-

dad”, siendo esta última relativa al volumen que queda después de sustraer a la disponibilidad natural el volumen concesionado para usos consuntivos.

El conocimiento de la disponibilidad natural de agua de un territorio es fundamental para poder llevar a cabo procesos de manejo del recurso hídrico. Los datos oficiales sobre disponibilidad natural de agua o aguas renovables los provee CONAGUA. Sin embargo, por ahora sólo han sido publicados a nivel de las 37 regiones hidrológicas en que ha dividido al país. En el ejercicio que se presenta a continuación se interpolan estos valores a un total de 393 cuencas hidrográficas. Debe reconocerse que algunas de estas cuencas son muy grandes, y que en esos casos el dato sigue siendo poco útil para el manejo integral de un territorio.

De esta manera, la disponibilidad natural anual de agua o el volumen de aguas renovables para cada una de las cuencas se estimó a partir de la precipitación media anual² de cada territorio y los coeficientes de escurri-

miento e infiltración inferidos a partir de los datos de volumen de agua escurrida e infiltrada que CONAGUA calculó para cada una de las 37 regiones hidrológicas ya mencionadas. Cada región hidrológica comprende varias cuencas; los coeficientes de escurrimiento e infiltración de las regiones hidrológicas se interpolaron a sus respectivas cuencas y se multiplicaron por la precipitación media anual de cada cuenca y su superficie total (ver detalle en DVD).

Con fines comparativos y dada la heterogeneidad existente en el tamaño de las cuencas, el valor obtenido de disponibilidad natural de agua se dividió entre la superficie de cada cuenca de manera que el mapa final muestra la disponibilidad natural de agua por kilómetro cuadrado.

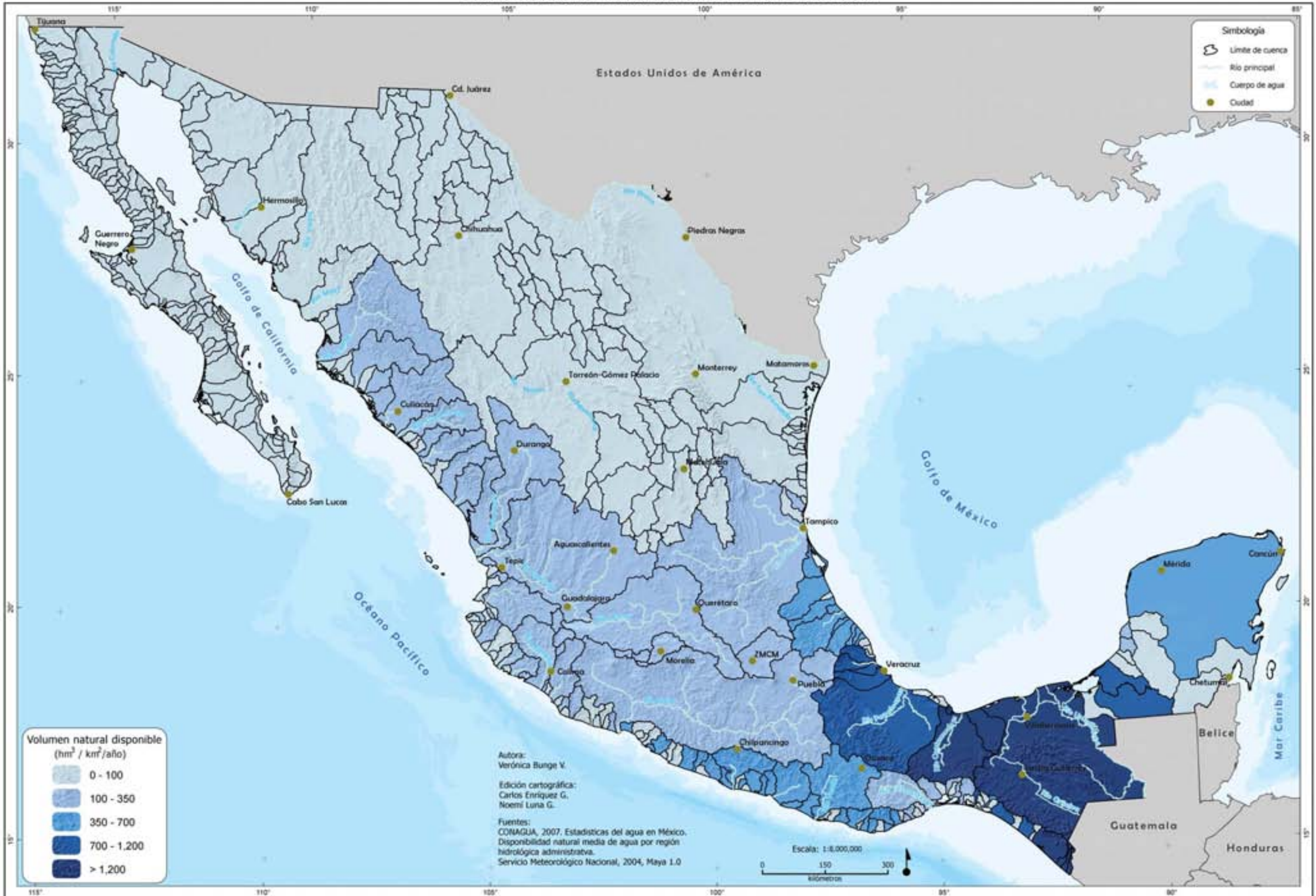
ANÁLISIS NACIONAL

En el país, la disponibilidad natural de agua no es homogénea a lo largo del territorio así como tampoco lo es su disponibilidad estacional. México se encuentra en latitudes donde la precipitación se presenta sólo en algunos meses

del año; en contraparte, el norte de Estados Unidos y muchos países de Europa gozan de periodos de precipitación más largos (Figura 1). Esta heterogeneidad en la disponibilidad de agua dificulta el sistema de gestión del recurso ya que implica un mayor costo en infraestructura de almacenamiento y drenaje de agua. Por ejemplo, en la cuenca de México, se ha luchado desde tiempos prehispánicos contra las inundaciones y se han construido varios acueductos con el fin de sacar el agua de la cuenca que, en ciertas épocas del año, provoca graves inundaciones (Perló y González, 2005). Paradójicamente, al mismo tiempo se invierte una enorme suma de dinero para traer agua de otras cuencas a fin de poder abastecer de manera regular a la población. Desafortunadamente, este suministro es bastante inequitativo y los asentamientos más pobres son los más vulnerables a los embates de las inundaciones y a su vez, a la escasez de agua.

En cuanto a la distribución espacial del recurso se observa que, en general, las cuencas situadas en el centro y norte del territorio tienen una baja disponibilidad natural de agua porque la precipitación media anual de estas

DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIA ANUAL DE AGUA



regiones es menor a 500 mm. No obstante, es en ellas donde se concentra una elevada proporción de población y actividades económicas. Por el contrario, en la península de Yucatán y en el sureste en general, la disponibilidad natural media de agua es alta, y concentra a menos del 10% de la población del país.

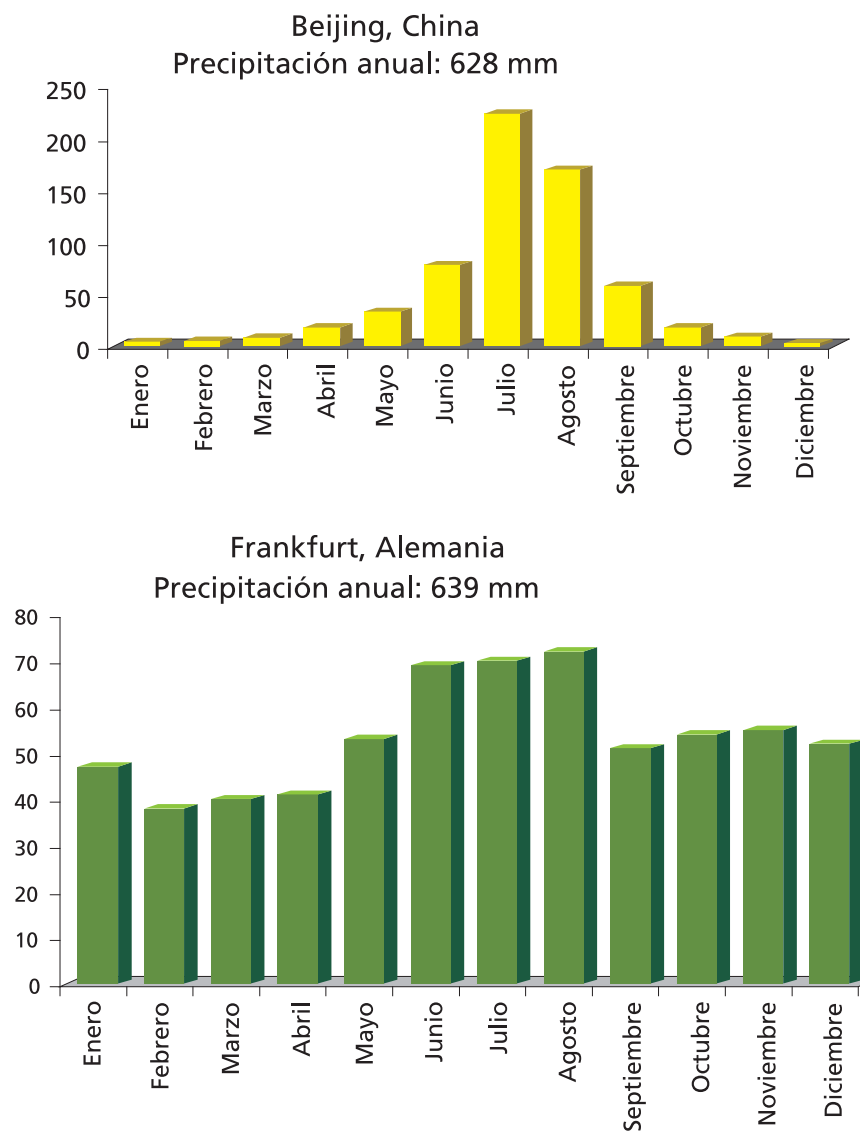
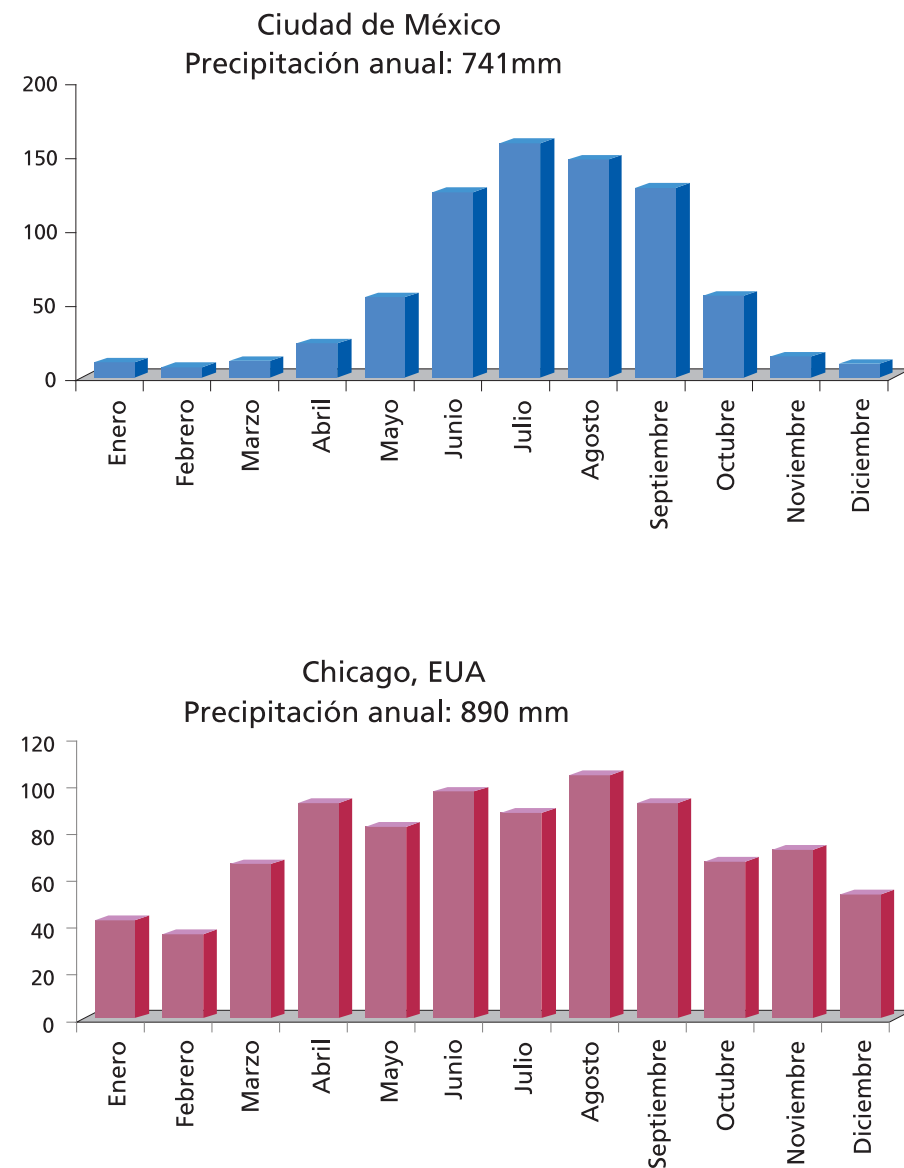
A pesar de esta notoria diferencia, es en el sur y sureste donde se encuentra el mayor número de habitantes sin acceso a servicio

de agua potable: en Chiapas y Oaxaca, alrededor del 73% de la población rural y urbana tiene acceso a agua potable mientras que en el Distrito Federal, Aguascalientes y Coahuila, más del 97% de las personas son abastecidas. Como se puede observar, el crecimiento poblacional no se encuentra ligado a la disponibilidad de recursos y la abundancia de agua tampoco está relacionada con el acceso a ésta.

La contaminación de los cuerpos de agua es otro factor que limita la disponibilidad de este recurso. En México, las aguas superficiales que escurren por ríos y arroyos o que se almacenan en lagos, lagunas y humedales representan el 82% del agua renovable total del país; el resto del agua se encuentra en formaciones subterráneas. Lamentablemente, una gran proporción de las fuentes superficiales de agua tienen una calidad deficiente debido

a las descargas de aguas residuales sin tratamiento que se hacen, esto sí, de manera bastante uniforme en todo el país (véase capítulo de saneamiento). Por esta razón, el agua para abastecimiento doméstico y público proviene principalmente de fuentes subterráneas, las cuales, por su mejor calidad, son comúnmente sobreexplotadas para satisfacer también otras necesidades como las del sector agrícola e industrial.

Figura 1. Comparativo de precipitación media mensual en diversas ciudades.



La desalinización del agua de mar es una alternativa que se ha planteado para aquellas regiones con baja disponibilidad natural de agua. No obstante, las necesidades energéticas de esta tecnología así como las salmueras resultantes del proceso han sido un obstáculo para su pleno desarrollo. Por ahora parece más viable y sensato invertir en la minimización de fugas a partir de la modernización de la infraestructura hidráulica, tanto urbana como agrícola, así como en la difusión de patrones de consumo con una importante carga de conciencia orientada al ahorro del agua.

En conclusión, la distribución del recurso hídrico en México es muy heterogénea, tanto en términos espaciales como temporales y sociales. Para tener una disponibilidad constante de este recurso se han construido embalses que, si bien han logrado impulsar el desarrollo industrial y agrícola en lugares con poco agua, han tenido un impacto negativo sobre la funcionalidad de muchos ecosistemas (véase capítulo de alteración eco-hidrológica). Por otro lado, para lograr una mayor distribución del recurso entre la población, se ha

incrementado la infraestructura abastecedora de agua potable y el porcentaje de la población con cobertura ha pasado de 75% en 1990 a 87% en 2005 (INEGI, 1990, 2000, 2005). Sin embargo, estos esfuerzos no han mermado la injusticia social que se gesta entorno al agua: el agua debe ser gratuita para cubrir las necesidades básicas y de ninguna manera debieran ser las personas con menos recursos los que paguen más por ella (Barkin, 2006).

Finalmente, la disparidad en la disponibilidad del recurso hídrico debe ser enfrentado desde distintas aristas: no sólo es fundamental considerar la gratuidad del agua para cubrir las necesidades básicas de la población, sino también vislumbrar el desarrollo de las regiones a partir de la disponibilidad de sus recursos; si se considerara el costo ambiental en los indicadores económicos, esta situación se daría automáticamente.

¹ Se agradece la colaboración de Ricardo Martínez Lagunes y de Eduardo Acosta Lara (CONAGUA).

² Compendio de 40 años del Registro Meteorológico Nacional.

ANEXO: MÉTODO EMPLEADO PARA CALCULAR LA DISPONIBILIDAD NATURAL DE AGUA POR CUENCA

De manera oficial, la disponibilidad natural de agua o aguas renovables ha sido estimada por CONAGUA a nivel de las 37 regiones hidrológicas en que se ha dividido al país (Cuadro 1 en DVD adjunto). Para calcular esta disponibilidad a nivel de cuenca, se infirieron coeficientes de escurrimiento e infiltración por región hidrológica dividiendo el escurrimiento natural medio y la recarga natural media, dadas ambas en hm³/año, entre la precipitación media anual dada también en hm³/año. La suma de ambos coeficientes representó el coeficiente de disponibilidad natural total por región hidrológica.

Cada región hidrológica comprende varias cuencas; la precipitación media anual era un dato que se tenía a nivel de cuenca. De esta manera, y considerando que el coeficiente de disponibilidad natural de las regiones hidrológicas puede interpolarse a sus respectivas cuencas, se procedió a multiplicar este coeficiente por la precipitación media anual de cada cuenca y su superficie total.

Por ejemplo, en el Cuadro 1 (ver DVD adjunto) se puede apreciar que el coeficiente de disponibilidad natural de agua de la región hidrológica del noroeste de Baja California es de 0.086. En dicha región hay tres cuencas; en la cuenca 1A1, la precipitación media anual en los últimos 40 años fue de 293 mm lo cual significa que, en 1 m², cayó en promedio casi 300 mm de agua cada año. En unidades de volumen, cayeron 0.3 m³ de agua en cada metro cuadrado. Si la superficie de dicha cuenca es de 3,239,722,321 m², entonces la cuenca en cuestión recibió 971,916,696 m³ de agua al año o lo que es lo mismo, 971.9 hm³/año. Sin embargo, un gran porcentaje de esta agua se evapora y ello depende de las condiciones climáticas de cada cuenca. Considerando que las cuencas de una determinada región hidrológica comparten un clima similar, el volumen total de agua que precipita en una cuenca se restringe por el coeficiente de disponibilidad natural de agua de esa región. En este ejemplo, dicho coeficiente es de 0.086 lo que significa que menos del 10% del agua precipitada se escurre o se infiltra; la mayor parte se evapora. De esta manera, la disponibilidad natural de agua por año para la cuenca 1A1 se estimó en 83.6 hm³/año.



FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

ESTADO ACTUAL DE LA VEGETACIÓN EN LAS CUENCAS DE MÉXICO

MARÍA LUISA CUEVAS, ARTURO GARRIDO, JOSÉ LUIS PÉREZ DAMIÁN Y DANIEL IURA GONZÁLEZ

MÉXICO ALBERGA en de su territorio una gran diversidad biológica producto de su compleja topografía, su geología y su variedad de climas. Esta diversidad biológica hacen de nuestro país la cuarta nación con mayor riqueza de especies, por lo que es considerado un país megadiverso (Sarukhán *et al.*, 2009). A pesar del reconocimiento de esa inmensa riqueza biológica, factores antrópicos como el crecimiento de la frontera agrícola, la ganadería, la industria o la expansión urbana y sus efectos asociados, están comprometiendo la presencia, distribución y salud de los ecosistemas a nivel nacional (Challenger y Dirzo *et al.*, 2009; SEMARNAT, 2008).

Al interior de las cuencas hídricas la vegetación juega un papel fundamental, al mantener la calidad del agua, regular la cantidad y periodicidad de los cauces, mantener la estabilidad ambiental cuenca arriba-cuenca

abajo, infiltrar agua para recargar los acuíferos, proteger al suelo, capturar CO₂, controlar las inundaciones y ser refugio y proveedor de recursos para la fauna, por mencionar algunas de sus funciones más importantes (Matthews *et al.*, 2000; Revenga *et al.*, 1998). Por ello, una primera medida para analizar las condiciones ambientales de una cuenca es conocer la extensión y distribución de su cobertura vegetal (Walter *et al.*, 2006; Matthews *et al.*, 2000).

Sin embargo, la sola presencia de la vegetación no asegura que ésta pueda cumplir con el gran número de funciones que desempeña dentro de la dinámica ambiental de las cuencas, ya que factores como la deforestación, el aislamiento o fragmentación de la vegetación o el grado de transformación de los ecosistemas al interior de las cuencas, modifica la estructura y funcionamiento de la vegetación, limitando su productividad y capacidad de respuesta ante fenómenos externos como huracanes, incendios, plagas e inundaciones,

entre otros (Walker *et al.*, 2006; Revenga *et al.*, 1998; Franklin, 1992; Stanford y Ward, 1992; Forman y Godron, 1986).

Considerando lo anterior, este análisis se centra en describir el patrón actual de distribución de la vegetación primaria y secundaria,¹ su grado de conectividad y el grado de transformación de las cuencas a partir de la superficie territorial que ha sido modificada por acción del hombre. Lo anterior, con el fin de reconocer indirectamente el estado ecohidrológico en el que se encuentran las cuencas.

DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN NATURAL

La vegetación natural determina muchos de los procesos, funciones y dinamismo de las cuencas, de ahí la importancia de analizar la presencia, extensión y diversidad de formaciones vegetales existentes en ellas. Para realizar dicho análisis, las fuentes utilizadas fueron, la *Carta de uso del suelo y vegetación*, Serie IV, Escala 1:250,000 (INEGI, 2009) y

el límite de cuencas regionalizado (ver apartado *Regionalización de las cuencas*). Con el fin de poder establecer un patrón de distribución en todas las cuencas, la vegetación se agrupó por formación vegetal, siguiendo los criterios establecidos en el *Informe de la situación del medio ambiente en México* (SEMARNAT, 2008).

Bajo una perspectiva nacional, las diez cuencas con mayor superficie de vegetación natural (primaria y secundaria) son las de los ríos Bravo, Nazas, Balsas, Yaqui, Santiago, Pánuco, Grijalva-Usumacinta, Fuerte, Sonora y la de la península de Yucatán. En la mayoría de estas cuencas la proporción de vegetación primaria con respecto a la secundaria es mayor al 60%: río Sonora (87%), río Bravo (84%), río Yaqui (83%), río Fuerte (78%), río Nazas (71%) y río Pánuco (61%). No se cumple esta proporción en la península de Yucatán; allí únicamente el 21% de su cubierta natural es vegetación primaria, el resto se encuentra en estado secundario.

VEGETACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA (2009)



Analizando la distribución de la vegetación primaria a nivel nacional, encontramos que las cuencas de mayor tamaño, como río Bravo, río Balsas, río Nazas o río Pánuco, son también las que presentan mayor cobertura de este tipo (Cuadro 1). Esto indica, como es de esperarse, una relación entre el tamaño de las cuencas y la extensión de la vegetación primaria. Sin embargo, si analizamos la presencia de vegetación primaria en relación al área de las cuencas, son las más pequeñas las que presentan la mayor cobertura relativa, incluso hay cuencas en la península de Baja California, con más del 99% de su territorio cubierto por vegetación primaria (Figura 1). En contraste, en cuencas de gran tamaño la vegetación primaria cubre menos del 30% de su superficie, como en la del río Balsas (21.2%) o en la de Grijalva-Usumacinta (23.5%)

Las cuencas que a pesar de su gran extensión aún conservan más del 70% de su territorio cubierto por vegetación primaria, son las del río Yaqui (72.8%), río Sonora (73.4%) y río Asunción (77.7%) en el estado de Sonora (Cuadro 1 y Figura 1).

CUADRO 1. CUENCAS CON MAYOR EXTENSIÓN DE VEGETACIÓN PRIMARIA

CUENCA	ÁREA DE LA CUENCA (km ²)	VEGETACIÓN NATURAL (ha)	VEGETACIÓN PRIMARIA (ha)	VEGETACIÓN PRIMARIA (%) a	VEGETACIÓN PRIMARIA (%) b
Río Bravo	222,489	17,843,571	14,943,285	83.7	67.1
Río Yaqui	74,668	6,512,580	5,435,082	83.5	72.8
Río Nazas	90,863	7,446,645	5,282,928	70.9	58.1
Río Pánuco	88,805	4,631,715	2,819,907	60.8	31.8
Río Santiago	76,266	4,976,073	2,418,336	48.6	31.7
Río Balsas	112,036	6,719,976	2,375,622	35.4	21.2
Río Fuerte	36,126	2,907,351	2,275,965	78.3	62.9
Grijalva-Usumacinta	87,735	4,460,652	2,065,284	46.3	23.5
Río Sonora	27,978	2,346,201	2,052,504	87.5	73.4
Río Asunción	25,807	2,234,592	2,005,236	89.7	77.7

a) Porcentaje de vegetación primaria en relación a la cubierta de vegetación natural en la cuenca, es decir primaria y secundaria.

b) Porcentaje de vegetación primaria en relación al área de la cuenca.

FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB



Por otro lado, la presencia de vegetación secundaria en las cuencas puede ser indicativo de un proceso de degradación de la vegetación primaria por factores naturales como los huracanes, o debido a factores antrópicos; o bien un proceso de recuperación natural o inducida, como en el caso del abandono de tierras de cultivo o deforestadas. En cualquier

caso, la vegetación secundaria sigue cumpliendo con funciones ecológicas importantes para la dinámica de las cuencas (Reynolds y Stafford-Smith, 2002).

Considerando la distribución a nivel nacional de la vegetación secundaria observamos que más del 50% se concentra en ocho cuencas: península de Yucatán (12%), río Balsas (10%), río Bravo (7%), río Santiago (6%), Grijalva-Usumacinta (5.6%), río Nazas (5%), río Pánuco (4.5%) y río Papaloapan (2.5%). Estas cuencas exceden, por mucho, el tamaño promedio de las cuencas a nivel nacional, lo que evidencia una correlación positiva entre el tamaño de la cuenca y la superficie de vegetación natural (Cuadro 2).

Si analizamos la extensión que cubre la vegetación secundaria en proporción a la superficie de cada cuenca, aquellas cuencas que por cobertura sobresalían, no alcanzan ni el 35% de su superficie cubierta por vegetación secundaria, como es el caso de las cuencas del río Bravo (13%), río Santiago (33%), Grijalva-Usumacinta (27%), río Nazas (23%), río Pánuco (20%) y río Papaloapan (23%). En cambio, se puede observar que con excepción de la península de Yucatán y la del lago Chac-Ha, en el estado de Campeche, las cuencas

CUADRO 2. CUENCAS CON MAYOR EXTENSIÓN DE VEGETACIÓN SECUNDARIA

CUENCA	ÁREA DE LA CUENCA (km ²)	VEGETACIÓN SECUNDARIA (ha)	VEGETACIÓN SECUNDARIA (%) a
Península de Yucatán	79,435	5,130,603	65
Río Balsas	112,036	4,344,354	39
Río Bravo	222,489	2,900,286	13
Río Santiago	76,266	2,557,737	34
Grijalva-Usumacinta	87,735	2,395,368	27
Río Nazas	90,863	2,163,717	24
Río Pánuco	88,805	1,811,808	20
Río Papaloapan	46,023	1,080,009	23
Río Yaqui	74,668	1,077,498	14
Río Verde	18,569	948,897	51

a) Porcentaje en relación al área de la cuenca.

con más del 60% de su territorio cubierto por vegetación secundaria, son menores a 10,000 km², es decir son más pequeñas que el estado de Querétaro (Figura 2).

En relación a los tipos de vegetación, las cuencas de los ríos San Pedro, Santiago y Pánuco, son las que presentan una mayor diversidad en cuanto a formaciones vegetales. En el caso de la cuenca del río San Pedro, su posición geográfica, el amplio gradiente altitudinal (3,350 m) y climático que presenta, junto con la gran variedad de ambientes geomorfológicos que sus ríos recorren, favorece la presencia de una gran cantidad de tipos de vegetación. En el caso de las cuencas de los ríos Santiago y Pánuco, su localización en la transición entre la zona neotropical y neártica y su extensión, juegan un papel importante en el establecimiento de diferentes coberturas vegetales. En estas tres cuencas encontramos por ejemplo: bosque templado, bosque mesófilo de montaña, pastizal natural, matorral xerófilo, selva subhúmeda, manglar, vegetación hidrófila y gipsófila, por mencionar algunos (ver Mapa 1).

Si observamos la distribución de los bosques mesófilos de montaña, uno de los eco-

sistemas más diversos de México, encontramos que las más de 1.8 millones de ha se concentran principalmente en siete cuencas: Grijalva-Usumacinta (30%), río Papaloapan (20%), río Pánuco (9%), río Coatzacoalcos y río Balsas (4% cada una), mientras que río Papagayo y río Tuxpan tienen, cada una, el 2% de todos los bosques mesófilos del país. Sin embargo vale la pena resaltar que la cuenca río Atoyac, en el estado de Guerrero, tiene más del 31% de su superficie cubierta por bosques mesófilos primarios (más de 994,000 ha), mientras que la cuenca con mayor proporción de bosque mesófilo de montaña secundario es la del río Manialtepec, en el estado de Oaxaca, con el 17% de su superficie cubierta por este tipo de vegetación, lo cual equivale a casi 14,000 ha.

Con respecto a los bosques templados primarios y secundarios con los que cuenta el país (poco más de 32 millones de hectáreas) 11 cuencas concentran más del 60% de la cobertura total; la cuenca del río Balsas es la que ocupa el mayor porcentaje (10%), seguida de las cuencas del río Yaqui (9%), río Santiago y río Bravo (8% cada una), río Fuerte (6%), río Pánuco (5%), río Nazas y río San Pedro (4% cada una), Grijalva-Usumacinta y río Culiacán (3% respectivamente) y río Ameca (2%), en el estado de Jalisco. Destacan por poseer gran cantidad de bosques templados primarios en relación a su territorio la cuenca río Los Juntas, en el estado de Jalisco, donde este tipo de vegetación cubre el 60.3% de la cuenca (19,764 ha) y las cuencas río Piaxtla (estados de Sonora y Durango) y río

Pitillal (estado de Jalisco), con más del 55% de su superficie cubierta por bosques templados primarios.

Si analizamos la proporción de los bosques templados secundarios en relación a la superficie de las cuencas, destacan, por tener más del 40% de este tipo de cobertura, las cuencas río Verde (45.5% que equivale a 844,355 ha) y río Copalita (41.6% equivalente a 63,652 ha), ambas en el estado de Oaxaca; río Coalcomán (41%, correspondiente a casi 80 mil ha) en el estado de Michoacán y la cuenca río Cuale (40.5%, que corresponde a poco menos de 11 mil ha) en el estado de Jalisco.

Por otro lado, a nivel nacional, las selvas húmedas ocupan poco más de 9.1 millones de ha, y se encuentran principalmente en las cuencas de península de Yucatán (26%),

Grijalva Usumacinta (18%), río Candelaria (7%), río Papaloapan (6%), río Hondo (5%), lago Chac-ha, en el estado de Campeche, (5%) y laguna Bacalar (5%). En relación al área de las cuencas del país, río La Malinche está cubierta en un 71% por selvas húmedas secundarias, mientras que en la cuenca río Hondo están presentes en un poco más del 53%; laguna Bacalar, río Mamantel y Felipe Carrillo Puerto tienen más del 40% de su territorio cubierto por este mismo tipo de vegetación. Todas las cuencas antes mencionadas se localizan en el estado de Campeche. Por el alto porcentaje de selvas húmedas primarias cubriendo su territorio, sobresalen las cuencas río Olapa (26%, equivalentes a 2,977,666 ha) y río la Palma (25%, correspondientes a 6,869 ha), en el estado de Veracruz y

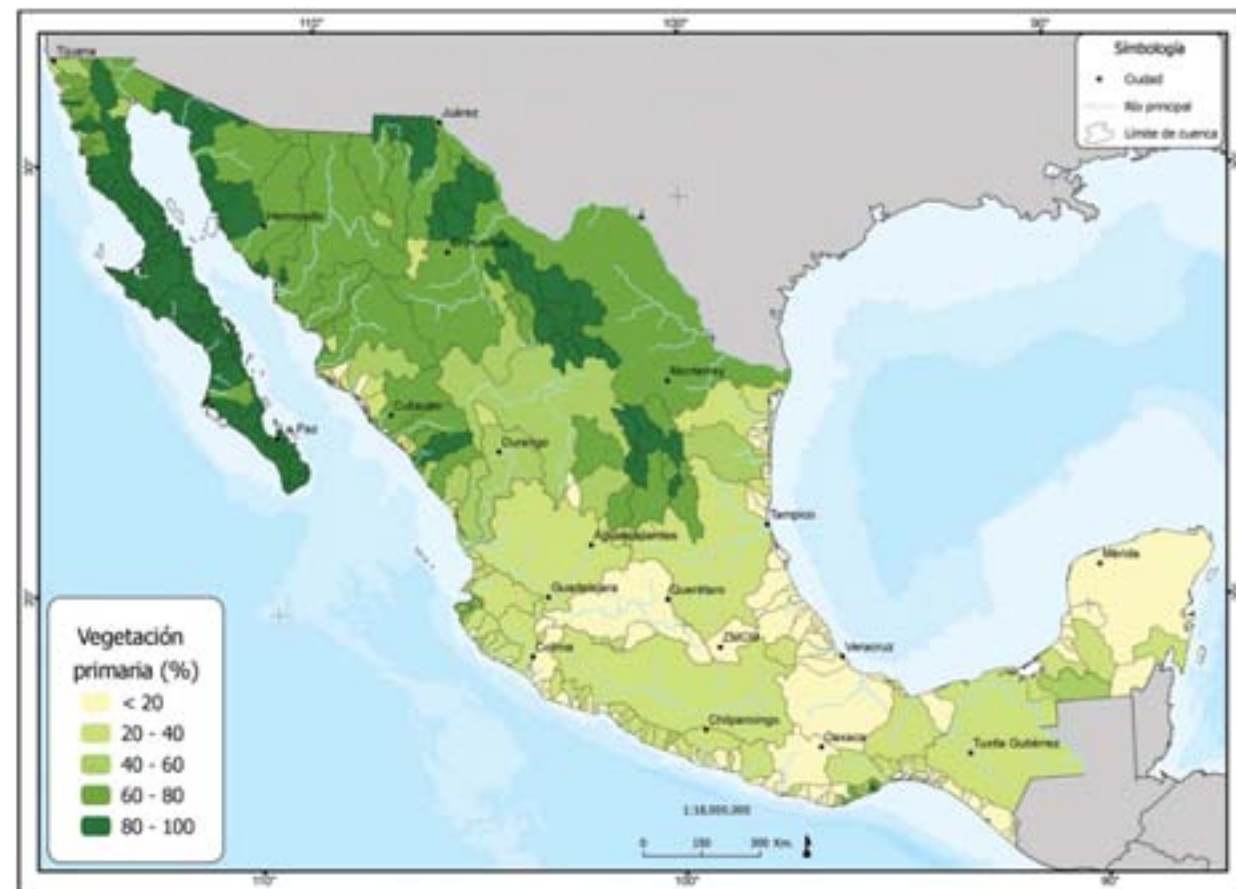


Figura 1. Porcentaje de vegetación primaria por cuenca, 2008.

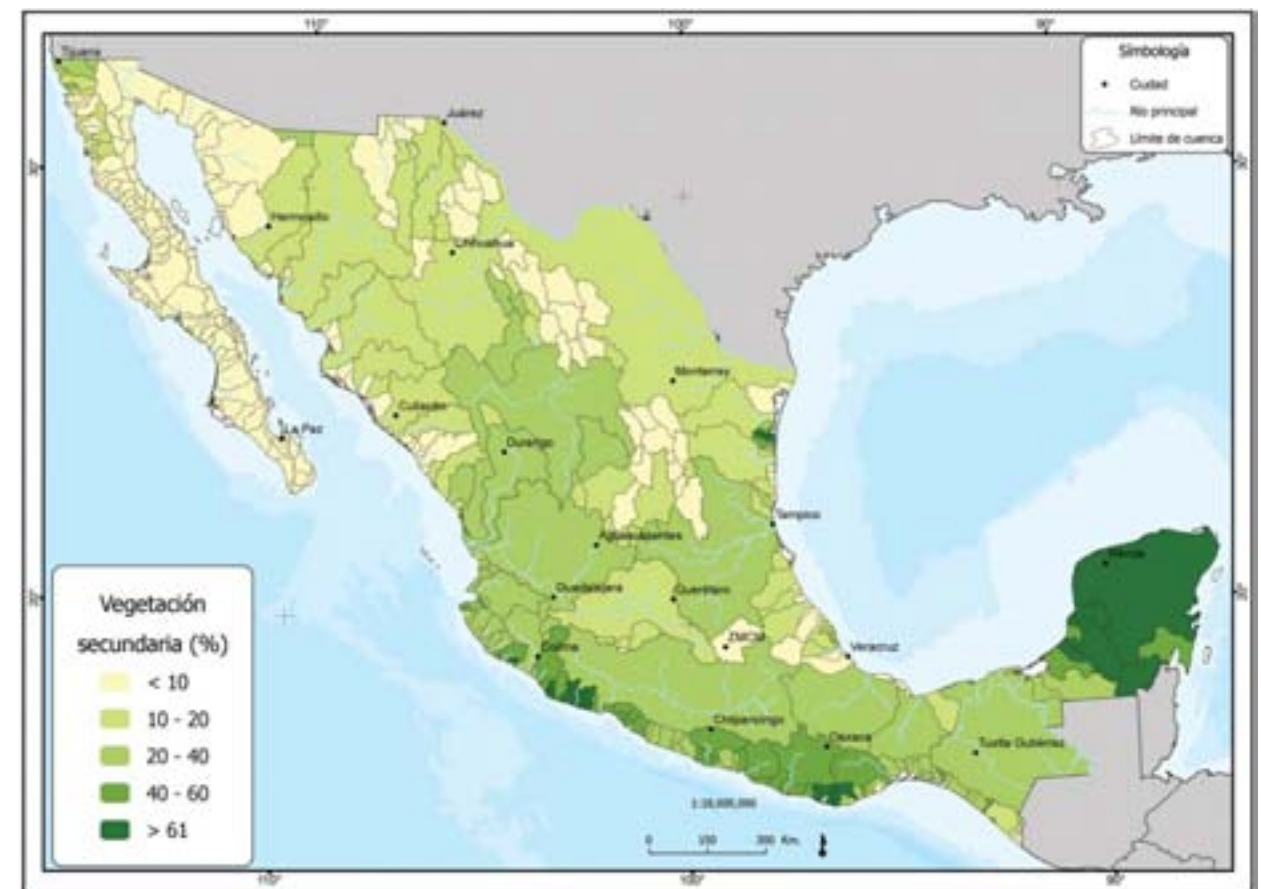


Figura 2. Porcentaje de vegetación secundaria por cuenca, 2008.

CONECTIVIDAD DE LA VEGETACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA (2009)



la cuenca río Candelaria (24% que equivale a 253,923 ha) en el estado de Campeche.

En lo que respecta al patrón de distribución de las selvas subhúmedas, encontramos que las cuencas península de Yucatán (16%), río Balsas (15%), río Yaqui (8%), río Santiago (12%), río Pánuco (3%) y río Mayo (3%) poseen aproximadamente el 50% del total nacional, que corresponde a 22,937,709 ha. Sin embargo, las cuencas arroyo Santa Clara (85.6%, 32,744 ha) y arroyo Cuajinicuil (78%, 24,493 ha) en el estado de Oaxaca, la cuenca río Ipala (72.5%) en el estado de Jalisco y río Tenango (72%) en Oaxaca, están cubiertas en más del 70% por selvas subhúmedas primarias. Con respecto a las selvas subhúmedas secundarias, encontramos que las cuencas río Cacalula (84.5%) en el estado de Michoacán y laguna Santiago (75.8%) y laguna Xmuchil (72%) en el estado de Campeche, tienen más del 70% de su territorio cubierto por este tipo de vegetación.

En cuanto a los manglares —cada vez más amenazados por el crecimiento agropecuario, el turismo, la acuicultura y la actividad petrolera en las costas—, se encuentran en mayor proporción en las costas de las cuencas de península de Yucatán, Grijalva-Usumacinta, río Acaponeta y laguna Bacalar; en estas cuencas se encuentra más del 50% de todo el manglar primario y secundario nacional. Si consideramos la proporción de manglar primario relativo al área de las cuencas, sobresalen la cuenca estero La Inicial (17% equivalentes a 12,845 ha) en el estado de Sinaloa y río El Palillo (13.6%, correspondientes a 6,980 ha) en el estado de Nayarit. Los manglares secundarios representan un porcentaje importante en las cuencas estero Mar Muerto (18.2%) en el estado de Oaxaca y laguna Agua Grande (9.5%) en el estado de Sinaloa.

En lo concerniente a la distribución de los matorrales xerófitos, los cuales cuentan con un gran número de endemismos, se reportan

50,400,712 ha, distribuidas en las zonas áridas y semiáridas del país. La cuenca río Bravo alberga más del 23% de todos los matorrales xerófitos primarios y secundarios del país, lo que equivale a un superficie aproximada de 11,777,357 ha. Le siguen las cuencas de río Nazas con el 8%, río Pánuco y río Asunción (estado de Sonora) con el 3% cada una; lago La Mancha, en el estado de Zacatecas, Cuenca Interior de Matehuala (San Luis Potosí) y río Yaqui concentran el 2% cada una; los matorrales de las cuencas río Sonoyta en el estado de Sonora y la cuenca río Conchos-Chorreras, en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, representan, cada uno, el 1% de los matorrales xerófitos a nivel nacional. Si bien este último porcentaje puede parecer menor, en cifras absolutas representa alrededor de 700,000 ha.

Tomando en consideración su superficie, 43 cuencas tienen más del 90% de su territorio cubierto por matorrales xerófitos primarios. Estas cuencas se localizan en la península de Baja California y la porción noroeste del país. Con respecto a los matorrales secundarios, tres cuencas tienen más del 50% de su territorio cubierto por este tipo de vegetación, éstas son: arroyo El Catán (67.7%), arroyo Olivares (59.4%) y río El Carrizo (55.9%), todas en el estado de Tamaulipas.

A pesar de los millones de hectáreas de vegetación natural (más de siete millones) que se han perdido desde la década de 1970 a la fecha (ver apartado de *Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural*) este análisis muestra que aún hay cuencas con una importante diversidad que necesita ser protegida; cuencas con una cobertura vegetal suficiente para seguir llevando a cabo sus procesos, así como cuencas que requieren de una mayor atención, sin importar su tamaño. Para poder mantener la integridad y funcionalidad de las cuencas es necesario prestar más atención al capital natural existente en ellas, así como a los bienes y servicios ambientales que ofrecen.

CONECTIVIDAD DE LA VEGETACIÓN NATURAL

Como se ha descrito anteriormente, existen cuencas con una diversidad de tipos de vegetación mayor que otras, así como cuencas con mayor proporción de un solo tipo de vegetación. Si bien esta diversidad y extensión de la vegetación natural es un elemento importante en la dinámica e integridad de la cuenca, también lo es la conectividad que presenta dicha vegetación. El grado de conectividad, o fragmentación de la vegetación en una cuenca, es un indicador de la funcionalidad y vulnerabilidad de la misma, ya que el número de parches, el tamaño de éstos y su dispersión, condicionan la capacidad de los ecosistemas de dar soporte y fungir como hábitat de distintas especies, de mantener los ciclos biogeoquímicos, de cumplir con sus funciones hídricas, así como de su capacidad para resistir disturbios como fuegos o huracanes (Franklin, 1992; Stanford & Ward, 1992; Forman & Godron, 1986).

Teniendo en cuenta la heterogeneidad de tipos de vegetación y el tamaño de las cuencas, se optó por utilizar un índice de conectividad que considerara la condición de la vegetación (es decir si es primaria o secundaria), el tamaño promedio de las áreas conectadas y su relación con el área de cada cuenca. Así, el resultado queda comprendido en un rango entre 0 (no conectado) y 100 (totalmente conectado) (Sharifi *et al.*, 2004). El índice fue reclasificado en cinco categorías de conectividad, a partir de rompimientos naturales. La fórmula utilizada fue: Donde:

$$IC = \left(\left(\sum_{i=1}^n (Area_i)^P \right)^{1/P} * 100 / Area_{total} \right) / n$$

Área_i = superficie de cada parche.

P = potencia (dado que la potencia dicta en qué medida el tamaño de los parches será tomado en cuenta; para este análisis se utilizó una potencia de 2).

Área total = superficie total del área estudiada.
n = número de parches.

Índice de conectividad	Número de cuencas	Superficie nacional (%)
Muy alta	92	5.2
Alta	35	2
Media	64	4.8
Baja	71	7
Muy Baja	131	81
Total	393	100

Cuadro 3. Índice de conectividad de la vegetación primaria por cuenca.

El índice de conectividad utilizado para este diagnóstico muestra, de manera general, que el 33% de las cuencas del país tienen una muy baja conectividad de la vegetación primaria; en términos de superficie, las 131 cuencas que componen estas categorías, representan el 81% del territorio nacional. En contraste, aunque existen 127 cuencas dentro de las categorías de muy alta y alta conectividad, en términos de representación nacional, éstas sólo ocupan el 7.2% de la superficie nacional (Cuadro 3).

Si observamos el mapa de conectividad (Mapa 2), podemos observar que la península de Baja California y las cuencas cerradas del centro y norte del país tienen conectada, casi en su totalidad, la vegetación primaria. En el caso de las cuencas de la península de Baja California, la vegetación primaria no sólo se encuentra conectada entre sí, sino además ocupa gran parte del territorio de las mismas (Figura 1). La presencia de las áreas protegidas del Valle de los Cirios y El Vizcaíno puede estar siendo un factor decisivo para ello. El tipo de vegetación dominante en estas cuencas es el matorral xerófilo primario (Mapa 1).

Existen cuencas aisladas en la costa sur del Pacífico y en el Golfo de México que también presentan una alta conectividad de vegetación primaria. Entre ellas se encuentran las cuencas arroyo Cuajinicuil, río Zimatán y arroyo Santa Clara, en el estado de Oaxaca, las cuales están

cubiertas principalmente por selvas subhúmedas. La cuenca río Zimatán además presenta bosques mesófilos de montaña y bosques templados bien conectados en la cuenca alta.

En contraste, las cuencas que presentan una menor conectividad de la vegetación primaria coinciden con aquellas de mayor tamaño y/o mayor desarrollo de actividades humanas como río Balsas, Grijalva-Usumacinta, Lerma-Chapala, río Bravo, río Santiago, río Pánuco, río Papaloapan, península de Yucatán y cuenca de México, por mencionar algunas (ver Mapa 2). A pesar de que estas cuencas — como se mencionó anteriormente— tienen una extensión importante de vegetación primaria a nivel nacional, ésta se encuentra disgregada; por ejemplo, la cuenca del río Bravo es la unidad con el mayor número de parches, 1,193, con un tamaño promedio de 12,519 ha; le sigue la cuenca río Balsas con 938 parches y un tamaño promedio de 2,533 ha. Una explicación a este patrón de conectividad es la extensión, distribución y crecimiento de la agricultura, la ganadería y el crecimiento urbano, así como de la infraestructura carretera e hidráulica (ver apartado *Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural*).

Con respecto a la vegetación secundaria, de las 393 cuencas estudiadas, 256 presentan una conectividad muy baja (lo que equivale al 92.6 % de la superficie del país), mientras que 21 cuencas presentan el nivel más alto de conectividad.

Cuadro 4. Índice de conectividad de la vegetación secundaria por cuenca.

Índice de conectividad	Número de cuencas	Superficie nacional (%)
Muy Alta	21	1
Alta	26	1.2
Media	48	3
Baja	42	2.2
Muy Baja	256	92.6
Total	393	100

tividad. La superficie total de estas cuencas sólo representa el 1% del territorio (Cuadro 4).

Las cuencas con mayor conectividad de vegetación secundaria (rangos alta y muy alta) se encuentran distribuidas a lo largo de las costas de México. La única cuenca interior con un muy alto índice de conectividad de vegetación secundaria es la cuenca lago La Boquilla, en el estado de Nuevo León, con una predominancia de bosques templados secundarios (Mapa 2).

Este mismo patrón de distribución se observa en las cuencas que componen la categoría de conectividad media; hay un predominio de cuencas costeras, entre las que destaca la cuenca del río Colorado, con algunas cuencas interiores en la parte centro norte del país (Mapa 2).

Exceptuando las de la península de Baja California, las cuales tienen predominancia de vegetación primaria, las cuencas con una conectividad muy baja, en cuanto a vegetación secundaria se refiere, son nuevamente aquellas con un desarrollo agrícola y pecuario alto, con una extensa red carretera y con la mayor concentración de población a nivel nacional, como son río Pánuco, río Santiago, Lerma-Chapala, río Balsas, río Nazas y río Yaqui, entre otras.

Al igual que con el número de parches de vegetación primaria, río Bravo es la cuenca con el mayor número de parches de vegetación secundaria —1,392 con una superficie promedio de 2,083 ha—, seguida por río Pánuco con 1,199 parches con una extensión promedio de 1,511 ha, río Balsas con 1,089 parches de aproximadamente 3,986 ha y Grijalva-Usumacinta con 1051 de 2,278 ha.

De acuerdo con Sánchez Colón *et al.* (2009), para el año 2002, el tipo de vegetación que más fragmentación presentaba era la de los bosques templados (52.1 % de su extensión está constituida por parches menores a 80 km²), seguidos de los pastizales; esto se puede deber a una condición natural de dis-

ITHE	SUPERFICIE AGREGADA DE CUENCAS (km ²)	% NACIONAL	NÚMERO DE CUENCAS	% DE CUENCAS
Sin transformación	8,615	0.4	12	3.0
Muy Bajo	246,264	13	140	35.4
Bajo	868,628	45	77	19.5
Medio	575,497	30	75	19.5
Alto	204,219	11	65	16.5
Muy Alto	35,010	2	24	6.1
Total	1,938,233	100	393	100

Cuadro 5. Estadísticas generales sobre el ITHE en las cuencas de México.

tribución de las condiciones requeridas por las especies que los componen.

ÍNDICE DE TRANSFORMACIÓN HUMANA DE LOS ECOSISTEMAS EN LAS CUENCAS

Dentro del ámbito de una cuenca hidrográfica, un parámetro que nos aproxima a la evaluación cualitativa sobre su estado ecológico es el índice de transformación humana de los ecosistemas (ITHE) propuesto por Walker *et al.* (2006), el cual consiste en la estimación —relativa a la superficie de la cuenca— del porcentaje de modificación que han sufrido los sistemas naturales por la acción antropogénica; esto es, el área relativa que ha sido alterada o sustituida por los seres humanos y que puede relacionarse con la pérdida de su funcionalidad hídrica (ver apartado *Zonas funcionales*) y, consecuentemente, de todos los servicios ambientales que dicha funcionalidad conlleva (Revenge *et al.*, 1998). Esta alteración hídrica fundamentalmente se genera a partir de la pérdida de la cobertura vegetal natural, la cual ocasiona, a su vez, procesos de degradación concatenados como la erosión de suelos, el azolve y contaminación de los cauces y zonas ribereñas, y la alteración de las variables del ciclo hídrico de la cuenca en términos generales (como la evapotranspiración, la infiltración y la escorrentía).

Por ende, el índice de transformación es una medida global que nos ayuda a inferir el

grado en el que potencialmente la cuenca ha perdido sus funciones ecohidrológicas básicas, cuando se carece de datos específicos y, sobre todo, a escalas geográficas pequeñas (regionales). Esta estimación puede ser complementada con la condición (estado de conservación y la fragmentación) en la que se encuentran los sistemas naturales de una cuenca (Walker *et al.*, 2006).

Para las cuencas del país, el ITHE fue calculado a partir de la suma de las superficies de la vegetación natural primaria y secundaria en cada cuenca, para así obtener la proporción territorial que ocupa dicha vegetación con relación a la superficie de cada cuenca. El porcentaje fue reclasificado a partir del método de “rompimientos naturales” en seis clases de transformación.

Como resultado, el ITHE presenta un patrón espacial en el cual predominan, en términos de superficie total agregada, las cuencas con un valor bajo de transformación (45% del total del territorio); esto quiere decir que del total de las coberturas naturales de estas 77 cuencas, han sido sustituidas entre un 10 y un 25% ellas por algún tipo de cobertura o uso antrópico (ver Cuadro 3). Geográficamente, estas cuencas se ubican en la porción norte del país, y sobresalen las cuencas río Bravo, Nazas, Yaqui y San Pedro. También se observa un grupo bajo de este valor en la península de Yucatán y cuencas vecinas, así como en la porción Pacífico sur del país, en las cuencas



FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

ÍNDICE DE TRANSFORMACIÓN HUMANA DE LOS ECOSISTEMAS (2009)



Papagayo y Tehuantepec principalmente (ver Mapa 3).

La siguiente categoría más importante, en términos de superficies totales agregadas de las cuencas bajo este valor, es el índice medio de transformación que tienen 75 cuencas (30% del país). La superficie original de vegetación natural de ellas ha sido transformada entre un 25 y 50% del total de sus áreas. De este grupo sobresalen por su tamaño las cuencas río Colorado, Santiago, Pánuco, Balsas, Grijalva-Usumacinta y Soto La Marina.

La tercera categoría en orden de importancia es la que corresponde al valor muy bajo; estas 140 cuencas ocupan en total un 13% del territorio del país y son cuencas cuyas superficies han sido transformadas entre un 10 y un 25% de su área total. Están claramente localizadas en las cuencas cerradas del norte del país, algunas otras en el altiplano y principalmente en la península de Baja California.

En cuarto lugar se encuentran las cuencas categorizadas en un valor alto de transformación; son 65 cuencas que en suma ocupan 11% del territorio nacional. Estas cuencas han perdido, debido a la acelerada acción humana, desde un 50 hasta un 75% de sus sistemas naturales en términos de superficie. Las cuencas bajo esta categoría drenan principalmente hacia el Golfo de México, algunas otras hacia el Pacífico, y algunas otras son endorreicas (ver Mapa 3). Sobresalen por su tamaño, las cuencas Lerma-Chapala, Papaloapan, Coatzacoalcos y río Tonalá, junto con otras como Cuitzeo, Pátzcuaro y una gran parte de las cuencas de la zona costera chiapaneca.

En quinto lugar se encuentran 24 cuencas con el valor de transformación más elevado (muy alto), ocupando en total el 2% del país. En ellas, los intensos procesos de transformación humana de los paisajes han eliminado desde un 75.1% hasta un 95% de sus sistemas naturales. Sobresale la cuenca de México junto con otras de menor tamaño que drenan al Golfo de México, como río Bobos y Jamapa.

En último lugar en cuanto a superficie total, se encuentran 12 cuencas cuya superficie no ha sido modificada; éstas ocupan tan sólo un 0.4% del total nacional y se ubican en la península de Baja California.

Es muy claro el patrón geográfico general entre las cuencas de la parte norte (menos degradadas) y las de la parte centro-sur del país (mayormente degradadas) en términos de transformación y deterioro de los sistemas naturales debido a la acción humana. Las cuencas del Eje Neovolcánico Transversal por su grado de transformación humana, así como la gran mayoría de las cuencas que drenan al Golfo de México, son sistemas que deberán ser considerados prioritarios para detener y revertir los impactos que se han generado hasta hoy en sus sistemas naturales y seguramente en su funcionalidad eco-hidrológica.

Las cuencas transformadas medianamente, por ser muy grandes y con sistemas muy caudalosos (como Grijalva-Usumacinta), también representan un reto para la preservación de sus sistemas naturales pues de ellos dependerá el mantenimiento de las funciones hídricas de dichas cuencas. De igual manera, existen sistemas que deberán de ser conservados en concordancia con las políticas de uso del territorio, pues sus condiciones de conservación hacen de ellas un valioso capital natural bajo el contexto de la cuenca.

CONCLUSIONES

Los patrones de distribución y la extensión total y relativa de cada uno de los tipos de vegetación estudiados en las cuencas nos reflejan la heterogeneidad entre y al interior de las mismas. Si bien la distribución natural de la vegetación está determinada por factores como la ubicación geográfica, el clima, la topografía o el tamaño, la orientación y morfología de la cuenca, es claro que sistemas con condiciones similares presentan características distintas (como la cuenca río

Valdeflores en la costa de Oaxaca), debido principalmente a las actividades humanas que se han venido desarrollando históricamente dentro de las mismas.

La heterogeneidad de tamaños de las cuencas, aunada a los patrones de distribución y conectividad de la vegetación, así como el ITHE, nos muestra el gran reto que implica a nivel nacional el manejo integral de los recursos naturales y el mantenimiento de la funcionalidad ambiental de las cuencas. Por un lado, las cuencas de mayor tamaño como río Bravo, río Pánuco, río Santiago, río Balsas o Lerma-Chapala, son las que presentan la mayor extensión total de vegetación natural, pero con la menor conectividad y valores medios o altos de transformación humana. Lograr un manejo óptimo de los recursos todavía existentes en ellas requiere de un análisis complejo no sólo de los ecosistemas y las interacciones cuenca arriba-cuenca abajo, sino también de las necesidades y requerimientos humanos, pues es precisamente en estas cuencas se concentra la mayor parte de la población nacional (ver apartado *Población*).

Por otro lado, a pesar de la complejidad que representa el manejo integral en las cuencas de gran tamaño, Matthews *et al.* (2002) señalan que diversos estudios han demostrado que cuencas de mayor tamaño tienen mayor capacidad de recuperación y/o restauración al contar con subsistemas que amortiguan o frenan ciertos procesos, en contraste con cuencas pequeñas las cuales son más vulnerables a los cambios y procesos de degradación de la vegetación.

Existen tres aspectos básicos a considerar si se pretende incorporar a la vegetación dentro del manejo de las cuencas en México; por un lado, la conservación de aquellas cuencas que aún poseen una importante cobertura natural en su superficie y que no se encuentran protegidas bajo ningún instrumento de conservación actualmente, como sería el caso de las cuencas del noroeste como río Asunción o

algunas cuencas endorreicas del centro del país. Por otro lado, establecer medidas preventivas en aquellas cuencas que, por su estado de conservación y conectividad, comienzan a migrar hacia umbrales críticos de transformación antropogénica, como sería el caso de muchas de las cuencas costeras del Pacífico sur. Y finalmente, para las 89 cuencas que se encuentran actualmente en estados altos y muy altos de transformación deberán establecerse estrategias correctivas de restauración y rehabilitación. Dichas medidas y estrategias, contextualizadas bajo una unidad de gestión de cuenca (y sus zonas funcionales), coadyuvarán al incremento y sostén de los recursos hídricos a nivel nacional, pues este marco permitirá identificar espacialmente en dónde es prioritario fomentar la conectividad entre parches de vegetación, reintroducir (restaurar) especies vegetales nativas y conservar la vegetación que protege y mantiene funcionando áreas clave para la cuenca.

¹ La vegetación primaria y secundaria se delimitó siguiendo los criterios establecidos por INEGI, el cual considera como vegetación primaria “a las comunidades vegetales con una condición natural, sin evidencia de una condición climax diferente y cuando los factores de disturbio no han afectado aún la estructura y composición florística general de la comunidad”, mientras que la vegetación secundaria se caracteriza por presentar “un estado alterado o modificado de la comunidad en su composición florística o estructural, generalmente por influencia antropogénica o catástrofes naturales. Puede definirse como una etapa sucesional natural o provocada, cuando está en recuperación; grado de disturbio o daño, cuando está bajo presión antropogénica”.

DINÁMICA POBLACIONAL



POBLACIÓN POR CUENCA Y ZONA FUNCIONAL

KARINA RUIZ BEDOLLA

DURANTE EL SIGLO XX México experimentó un acelerado crecimiento demográfico: a principios de siglo había una población total de 13.6 millones de habitantes, mientras que para el año 2000 la población fue de 97.4 millones y cinco años más tarde alcanzó la cifra de 103.2 millones.¹ Las causas de este crecimiento han estado asociadas a un aumento en la cobertura de los servicios de salud y a los adelantos científicos en el campo de la medicina, dando como resultado una disminución en la mortalidad. No obstante, en la comprensión de la dinámica demográfica también deben considerarse otros factores que influyen, como son las condiciones socio-culturales relacionadas con la reproducción humana,² así como la distribución de los individuos en un territorio tomando en cuenta los flujos migratorios (campo-ciudad, entre ciudades y a nivel internacional). Estos comportamientos se asocian a los cambios en las estructuras económicas y sociales del país. Según INEGI (2000), “el patrón de asentamientos humanos del país se caracteriza por una fuerte concentración de población en unos cuantos centros urbanos y una acentuada dis-

persión en numerosas y pequeñas localidades en todo el territorio”.

POBLACIÓN Y SUS CONSECUENCIAS AMBIENTALES

La relación de la población con el entorno natural está intrínsecamente ligada al uso de los recursos naturales que sirven de sustento a la vida diaria de los individuos (consumo de agua, alimentos, vestido, etcétera). Sin embargo, los impactos que derivan de esta relación han impulsado el surgimiento de diferentes debates que permiten explicar el vínculo entre la población y medio ambiente.

Entre las discusiones, destaca el enfoque malthusiano, el cual manifiesta el desequilibrio que se hace presente si se considera que la capacidad de los seres humanos para aumentar sus medios de subsistencia es mucho menor (progresión aritmética) que su capacidad de reproducción (progresión geométrica), generando condiciones de escasez.³ Sin embargo, hay que hacer notar que este argumento no responde directamente a las implicaciones demográficas con respecto al medio ambiente, sino más bien a la presión sobre el suelo por el aumento en la generación de alimentos.

Otra postura que permite ampliar el tema de población-medio ambiente es la que plantea Ehrlich (1975). Ésta resalta la importancia del tamaño de la población, complementado con otros factores, como son el consumo per cápita y la tecnología.⁴ La perspectiva de analizar la presión demográfica sobre el ambiente se amplía con otras variables que permiten explicar los efectos antrópicos: si bien el tamaño y crecimiento de la población ejercen impactos ambientales por el consumo de recursos naturales y la generación de residuos (sólidos, líquidos y/o gaseosos) derivados de las actividades humanas, dicha variable no es la única, y en algunos casos, tampoco la principal causa de deterioro ambiental. Hay entonces otros factores que pueden incidir, como son el nivel de riqueza y los patrones de consumo en algunas regiones en las que el incremento de la población pareciera no ser significativa para el deterioro ambiental.⁵

A estos planteamientos se han sumado conceptos como el de capacidad de carga y huella ecológica (Wackernagel y Rees, 2001), con los cuales se pretende dilucidar el binomio población/medio ambiente. Aquí se evalúa la sustentabilidad de la economía humana considerando en su análisis el consumo de energía y

de materia, así como la capacidad de los ecosistemas de absorber los desechos sin generar desequilibrios.

Así, la importancia del crecimiento y del tamaño de la población radica en la dificultad de luchar contra un proceso que limita los tiempos de capacidad de respuesta y que se complejiza con el aumento de habitantes en un lugar determinado.⁶ Con el crecimiento de la población, ya sea natural o social, habrá un aumento en la demanda de bienes de consumo y servicios. Al rebasarse las capacidades tanto ambientales como tecnológicas para proveer estos requerimientos, se recurre a la gestión y coordinación de otras estructuras territoriales para poder solventar estas necesidades. Esto tendrá como consecuencia afectaciones ambientales de manera indirecta a otras zonas, como es el caso de la extracción y transferencia de agua entre cuencas o la producción de alimentos para sostener a la población que reside en ciudades (Ibarra, 1984; Rodríguez, 1992; Pisanty, *et al.*, 2009).

Aunado a los planteamientos anteriores, también surge la necesidad de considerar otras variables que permitan ampliar la comprensión de la relación población-medio ambiente, incorporando en los estudios demográficos los

aspectos sociales, políticos, económicos y culturales que determinan las formas en como una sociedad se reproduce y distribuye en un territorio,⁷ así como las percepciones de la población con respecto al medio ambiente (Izazola, 1999). Lo anterior obliga a repensar cómo se han descrito los cambios demográficos y las consecuencias ambientales asociadas a éstos, ya que estos vínculos no son unívocos y directos, sino más bien expresan una dinámica multifactorial que debe de ser apoyada con estudios locales que permitan aproximaciones a las condiciones de vida de los individuos.

POBLACIÓN POR CUENCA HIDROGRÁFICA

Para analizar a las cuencas hidrográficas con base en la población, se consideró la suma de los habitantes de las localidades que se encuentran dentro de los límites físicos de cada una de las cuencas (Figura 1), a partir de los datos del 2° Censo de Población y Vivienda 2005, por medio de la utilización de un sistema de información geográfica.

Entre los principales resultados puede observarse que las cuencas más pobladas son 13. En éstas habitan 77,979,375 personas, lo que equivale al 75.52% de la población nacional⁸ (Cuadro 1), mientras que en 369 cuencas se encuentra distribuido el restante 24.48%, de las cuales 130 tienen poblaciones de menos de 2,500 habitantes.

Del total de 393 cuencas en que está dividido el país, sólo 11 no tienen población dentro de sus límites, y están principalmente ubicadas en los estados de Baja California (arroyo Los Ojitos, Punta Camacho, arroyo Lázaro, arroyo La Rinconada, arroyo La Asamblea, arroyo Los Paredones), Baja California Sur (arroyo El Varadero, arroyo Los Locos, arroyo La Salinita) y Sonora (arroyo La Corva).

La cuenca de México es la que encabeza la lista de las más pobladas concentrando casi 19% de la población total nacional, lo cual tiene como consecuencia una alta presión

sobre los recursos hídricos de la cuenca y de zonas aledañas. “En ella se utilizan 72.5 m³/s de agua, de los cuales 69% proviene del acuífero regional de la cuenca de México, 2% de escurrimientos superficiales de la propia cuenca, 9% de agua subterránea del Sistema Lerma y 20% proviene del agua superficial del Sistema Cutzamala” (Pisanty *et al.*, 2009: 740-743). No obstante, se ha planteado la necesidad de importar agua de otras cuencas (Temascaltepec, Tecolutla, Tula) ante el inminente desabasto de agua.

Por su parte, la cuenca del río Tecolutla (Veracruz), que es también una de las cuencas más pobladas, concentra a 1.09 millones de habitantes y según la CONABIO presenta problemas de deforestación, pérdida de suelos por deslave y ganadería extensiva, entre otros,⁹ aunque sus condiciones de degradación no son extremas.

DENSIDAD DE POBLACIÓN POR CUENCA

La densidad de la población es otra medida que nos permite dimensionar la presión que se ejerce sobre un territorio. En el caso de la regionalización por cuencas, observamos que el 53% tiene menos de 10 habitantes por km², (Figura 2) ya que influye mucho la heterogeneidad de los territorios de acuerdo a sus límites biofísicos.

A grandes rasgos podemos mencionar que a pesar de que la densidad de población tiende a ser más elevada en la región central de país¹⁰ (Figura 3), al utilizar la relación de población y superficie existen algunas cuencas pequeñas que tienen una alta densidad de acuerdo al número de personas que habitan en ellas, como es el caso de Punta Ensenada (Baja California), río La Sabana (Guerrero), río Cuale (Jalisco), arroyo El Cajoncito (Baja California Sur), cuenca de San Luís Potosí (San Luís Potosí) y río Cahoacan (Chiapas), las cuales si bien no son las más pobladas, tienen una densidad mayor a 500 hab/km².

CUADRO 1. CUENCAS MÁS POBLADAS				
Cuenca hidrográfica	Nº Localidades		Población total	
	Absolutos	Porcentaje	Absolutos	Porcentaje
Cuenca de México	2,464	1.31	19,609,728	18.99
Lerma-Chapala	12,363	6.58	9,829,683	9.52
Río Bravo	12,551	6.68	9,825,587	9.52
Río Balsas	16,979	9.03	9,770,662	9.46
Río Santiago	10,877	5.79	6,917,209	6.70
Grijalva-Usumacinta	17,513	9.32	5,315,551	5.15
Río Pánuco	16,653	8.86	5,198,293	5.03
Río Papaloapan	8,878	4.72	3,237,537	3.14
Península de Yucatán	3,598	1.91	2,753,005	2.67
Río Nazas	3,326	1.77	1,734,372	1.68
Río Tijuana	700	0.37	1,444,572	1.40
Río Verde	2,788	1.48	1,252,272	1.21
Río Tecolutla	2,349	1.25	1,090,904	1.06
Otras cuencas	76,899	40.92	25,284,013	24.48
Total	187,938	100.00	103,263,388	100.00

Figura 1. Mapa de población por cuenca hidrográfica.



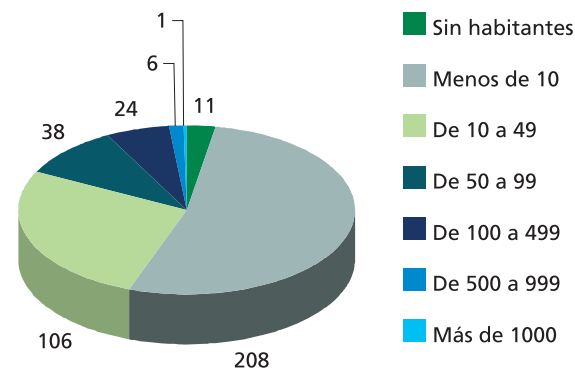


Figura 2. Distribución de las cuencas según su densidad de población (hab/km²).

POBLACIÓN POR ZONA FUNCIONAL¹¹

El análisis por zonas funcionales resalta la importancia del relieve en las formas de distribución de la población al interior de las cuencas. La distribución de los habitantes por zona funcional nos indica la presión demográfica sobre los ecosistemas, considerando su distribución en las distintas zonas de la cuenca, ubicando las afectaciones de manera diferenciada de acuerdo a las características de cada una.

Las actividades antrópicas generadas en la parte alta de las cuencas modifican la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, alte-

rando el ciclo hidrológico (infiltración, escurrimiento), lo cual tiene implicaciones al contaminar el recurso hídrico, cuyo efecto se manifiesta a lo largo de toda la cuenca y de manera más directa para los habitantes de la parte baja.

A nivel nacional, 43% de la población se encuentra asentada en las zonas medias de las cuencas, mientras que 35% se localiza en las zonas bajas y sólo 22% habita en las zonas altas (Véase Mapa).

En el caso de las 13 cuencas más pobladas, la forma de distribución de los habitantes en sus zonas funcionales puede apreciarse en el Cuadro 2.

En el caso del río Balsas, 72% de sus habitantes se encuentran asentados en la zona alta. Estos asentamientos, así como las actividades agrícolas e industriales que se realizan, generan impactos ambientales que repercuten en las zonas media y baja de la cuenca.¹²

En el caso de las zonas bajas en cuencas costeras, los impactos pueden estar asociados a la destrucción de manglares y a afectaciones a la biodiversidad por un aumento de asentamientos humanos que traen consigo la expansión de superficie sellada y la generación de residuos, así como afectaciones asociadas a activi-

CUADRO 2. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR ZONA FUNCIONAL DE LAS 13 CUENCAS MÁS POBLADAS (%)

Cuenca hidrográfica	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja	Total
Cuenca de México	1.52	39.51	58.97	100.00
Lerma-Chapala	31.24	60.33	8.43	100.00
Río Bravo	16.73	67.05	16.22	100.00
Río Balsas	72.18	24.46	3.36	100.00
Río Santiago	10.18	82.89	6.93	100.00
Grijalva-Usumacinta	32.54	27.70	39.76	100.00
Río Pánuco	43.00	32.21	24.79	100.00
Río Papaloapan	39.19	34.09	26.72	100.00
Península de Yucatán	0.41	29.82	69.77	100.00
Río Nazas	10.55	14.34	75.11	100.00
Río Tijuana	0.41	5.93	93.66	100.00
Río Verde	11.30	87.28	1.42	100.00
Río Tecolutla	53.43	37.14	9.43	100.00



Figura 3. Mapa de densidad de la población por cuenca.

dades económicas (pesquerías, turismo, industria petroquímica, etcétera). Algunas de las cuencas con más de 80% de su población total en zonas bajas cuentan con importantes extensiones de manglar, como río Culiacán (Sinaloa), con 12,197 ha, y río Acaponeta (Nayarit) con 51,032 ha.¹³

Ante este panorama, podemos concluir que la relación de la población con el uso y aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca es un problema complejo que genera diferentes afectaciones ambientales de acuerdo al tamaño de población, lo cual debe de contrastarse con las actividades antrópicas realizadas (desarrollo urbano, agricultura, industria, etcétera). Asimismo, el análisis de zonas funcionales permite ofrecer insumos para la creación de estrategias en materia

ambiental, dependiendo de la distribución poblacional y de la diversidad biológica al interior de las cuencas.

¹ Según datos reportados por INEGI para el *XII Censo General de Población y Vivienda, 2000* y para el *II Censo de Población y Vivienda, 2005*.

² “Las preferencias reproductivas se refieren tanto a lograr un ideal de hijos, como a los deseos por tener más hijos durante el ciclo de vida reproductiva. Las preferencias varían de acuerdo a los contextos económicos, sociales y culturales en que vive la población”. (Menkes, C. y O. Mojarro, 2006).

³ La escasez de alimentos debe de considerarse como un problema más complejo en su análisis, ya que incorpora variables de carácter económico como son el nivel de ingresos, los precios de los productos, el acaparamiento, etcétera. “Durante las épocas de hambre

generalizada, muchas veces los pobres han sido víctimas de inanición cuando se disponía ampliamente de alimentos que ellos no podían sufragar” (ONU, 2001).

⁴ Este enfoque plantea la ecuación $I = P \times F$, donde I = Impacto total, P = tamaño de población y F = el impacto per cápita. Esta última variable se refiere al consumo de alimentos, agua, energía, fibras, metales, etcétera; pero también debe de considerarse la tecnología que hace posible este consumo.

⁵ Según el Fondo de Población de las Naciones Unidas “los países más ricos del mundo, donde reside el 20% de la población mundial, tienen un 86%

del total del consumo privado, mientras que el 20% más pobre de la población mundial consume sólo el 1.3%.” (FNUAP, 2001).

⁶ Para más información sobre el tema de población vinculado a impactos ambientales, véase Ehrlich (1975) y Wackernagel y Rees (2001).

⁷ Entre los factores que determinan las tendencias de distribución de la población y sus cambios destacan tres principales: a) factores geográficos, entre los que se incluyen el clima, la configuración, los suelos, otros recursos físicos y las relaciones espaciales; b) factores económicos y sociales, que comprenden

actitudes de los pueblos y las metas que persiguen, sus actividades técnicas y económicas y la forma de organización social; y c) factores demográficos, que comprenden las diferencias en las tasas de natalidad y mortalidad, según las regiones, así como las corrientes migratorias (ONU, 1978).

⁸ La población total nacional para 2005 era de 103,263,388, según datos del *II Censo de Población y Vivienda, 2005*.

⁹ http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_076.html.

¹⁰ Cuenca de México con una densidad de 2,127

habitantes por km².

¹¹ Para el análisis de las zonas funcionales se realizó la suma de la población de las localidades que se encontraban dentro de cada zona funcional y se obtuvo el porcentaje con respecto al total de la cuenca.

¹² Véase Oswald, U., ed. (2003). *El recurso del agua en el Alto Balsas*, CRIM-UNAM, Instituto de Geofísica (UNAM), Colegio de Tlaxcala, A.C., México.

¹³ La población total de las cuencas mencionadas es: río Culiacán (914,247 hab.) y río Acaponeta (120,225 hab.). Información sobre la superficie de manglares, CONABIO (2008).



FOTO: VIVIANA TORANZO

URBANIZACIÓN

KARINA RUIZ BEDOLLA

PARA COMPRENDER los procesos urbanos a escala nacional es fundamental apoyarse en el análisis de los cambios en el tamaño de la población asentada en un territorio. Esto nos refleja las vinculaciones con la concentración de actividades económicas, así como sus consecuencias en el crecimiento del área urbana y el aumento en la demanda de bienes y servicios. Este proceso veloz limita las capacidades de autoregeneración de los ambientes naturales inmediatos, ocasionando presión a una escala regional que además es potenciada por la conectividad entre ciudades. Ésta promueve el flujo de personas y mercancías de manera más ágil, al mismo tiempo que se complejizan las dinámicas territoriales en términos de responsabilidades sobre los impactos ambientales derivados.

En el contexto nacional, según datos de INEGI, para el 2005 había una población total de 103.2 millones de habitantes, de los cuales aproximadamente el 63% radicaba en localidades consideradas urbanas¹, tendencia que seguirá en aumento en las siguientes décadas.

Si bien a principios de siglo la población se concentraba en las tres zonas metropolitanas principales (Ciudad de México, Monterrey y

Guadalajara), en la actualidad el proceso de descentralización hacia otras ciudades —que comienza a consolidarse dentro del Sistema Urbano Nacional—, tanto por su dinámica económica como por su oferta de infraestructura y servicios, ha tenido como consecuencia una mayor atracción de la población hacia ciudades medias. Un ejemplo de esta nueva forma de reestructuración urbana dentro de la dinámica territorial, son las zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala, Toluca, Tijuana, León, Juárez y La Laguna (CONAPO, 2007). Estos cambios en la distribución territorial de la población nos ofrecen la posibilidad de reflexionar sobre las implicaciones sociales y ambientales que el crecimiento de estas zonas urbanas traen consigo, como es la demanda de bienes y servicios ambientales que son proporcionados por las zonas rurales para el sostenimiento de entornos artificiales socialmente construidos.

EFFECTOS DE LA URBANIZACIÓN EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO

La distribución de la población urbana tiene efectos ambientales que influyen en la calidad de vida y se encuentra asociada a procesos de carácter económico y social. Estos efectos se manifiestan de diferente forma

dependiendo de la escala de análisis. A un nivel local, se observa que la expansión de la superficie de las ciudades ejerce presión sobre el entorno natural inmediato que las rodea. A un nivel regional, los problemas ambientales se reflejan en la dependencia que los centros urbanos tienen de otros sistemas naturales lejanos para la provisión de recursos que sustentan su existencia, tales como agua, alimentos, materiales de construcción, entre otros (Ibarra, 1984; Rodríguez, 1992).

El proceso de urbanización permite en primera instancia la inversión de capital para actividades económicas del sector secundario y terciario, favoreciendo la generación de empleos. No obstante, cuando el crecimiento de la población supera la oferta laboral por parte de la economía y la capacidad de respuesta gubernamental de dotar de infraestructura y servicios, surgen condiciones de marginalidad en la población que limitan sus condiciones de bienestar. Ante este panorama, el aumento de la población en zonas urbanas conlleva una problemática social compleja al incrementarse la demanda de vivienda de un sector de la sociedad que carece de los recursos económicos o que forma parte de la economía informal y no cumple con los requisitos legales suficientes para un crédito hipotecario. Esta población

estará a su vez incentivada a asentarse en zonas no aptas para el desarrollo urbano o con una riqueza eco-hidrológica relevante, con bajo costo de la tierra por ser zonas irregulares.²

Este fenómeno, aunado a otros factores (actividades económicas, movilidad socioespacial, desarrollos inmobiliarios), facilita la conurbación de ciudades teniendo implicaciones ambientales en las cuencas hidrográficas, modificándose los componentes naturales de estas unidades ambientales por cambios en la cobertura vegetal, el incremento en la deforestación y la degradación de suelos. Estas alteraciones tienen vinculación directa con el ciclo hidrológico de las cuencas: “se elimina la humedad almacenada en la masa de vegetación, se incrementa la escorrentía a costa de la infiltración del agua para recarga de acuíferos, se modifican los microclimas, se desprotegen a los suelos que se erosionan con rapidez, se incrementa el acarreo de sedimentos, su deposición y el correspondiente azolvamiento de cuerpos de agua naturales y artificiales” (Tudela, 2004: 40).

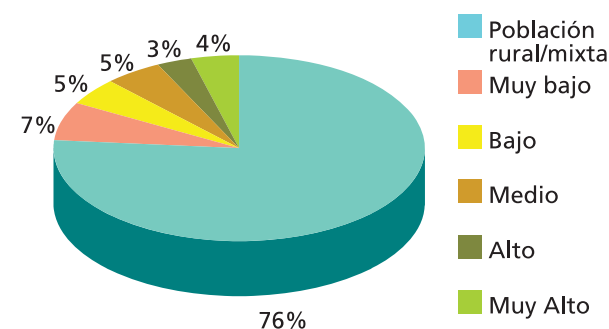
Asimismo, con la urbanización aumenta la demanda de dotación de agua potable para abastecer a una población que va en crecimiento constante, y la generación de residuos sólidos y aguas residuales de uso tanto urbano

como industrial. Con lo anterior se pueden ubicar dos tipos de impactos: “por un lado, se transfieren recursos hídricos de zonas relativamente distantes a los asentamientos urbanos y, por el otro, se depositan aguas residuales con diferentes grados de contaminación en zonas aledañas a estos centros urbanos” (Pisanty *et. al.*, 2009), desencadenando afectaciones ambientales diluidas más allá de los límites geográficos y generando conflictos tanto sociales, económicos y políticos asociados a la heterogeneidad en la disponibilidad del recurso hídrico en el país.

URBANIZACIÓN POR CUENCA HIDROGRÁFICA

Para el análisis de la urbanización por cuencas, se utilizó un análisis regional de la población urbana. Para realizar el cálculo por cuenca se utilizó el índice de urbanización (Véase anexo metodológico en DVD adjunto). Este indicador, además de evidenciar la proporción de la población que vive en localidades urbanas con respecto a la población total, permite atribuir mayor peso relativo a la concentración de población³ en ciudades de mayor tamaño (Unikel *et al.*, 1976). Este tipo de análisis se centra en la importancia del tamaño de la población, ya que éste influye en el impacto ambiental per cápita, si consideramos que es una variable que aumenta la complejidad de las interacciones vinculadas como son el transporte, la comunicación, el intercambio

Figura 1. Cuencas según la clasificación de población urbana, 2005.



de energía y materiales de construcción, entre otros (Ehrlich, 1975).

La distribución de la población urbana en las cuencas del país puede analizarse desde dos dimensiones espaciales: 1) analizar el nivel de urbanización de la cuenca en sí misma considerando a la población urbana y a la población total que se concentra en dicha unidad geográfica y 2) considerar el peso relativo que cada cuenca tiene con respecto a la población urbana y a la población total a escala nacional.

Con el primer análisis, la distribución de las cuencas de acuerdo a la concentración de la población urbana se encuentra representada en la Figura 1.

El 76% de las cuencas no contienen localidades urbanas dentro de sus límites, por lo tanto son cuencas compuestas por localidades mixtas o rurales y se encuentran ubicadas principalmente en la península de Baja

California, Chihuahua, Coahuila y la zona costera del Pacífico, siendo zonas donde la pérdida de vegetación natural, por superficie sellada a causa de asentamientos humanos, se encuentra en niveles muy bajos (véase mapa en DVD adjunto).

En cuanto a las cuencas con nivel de urbanización muy alto, sólo 16 de las 393 cuencas en que está dividido el país presentan una clasificación de este tipo. De éstas, la cuenca del río Tijuana es la que presenta el índice de urbanización más elevado, con una población urbana aproximada de 1.4 millones de habitantes, de los cuales el 89% se concentra en una sola localidad, que es la cabecera municipal de Tijuana (Cuadro 1). Sin embargo, este análisis es sólo una visión parcial de la problemática que presenta, ya que sólo se consideró la proporción de la cuenca que se encuentra en el territorio nacional. Al ser una cuenca binacional, tanto los efectos como las

estrategias de conservación deben considerar los esfuerzos colaborativos en la gestión de los recursos naturales que comparten México y Estados Unidos.

De igual manera, destacan con un alto nivel de urbanización cuencas muy pequeñas en dimensiones, pero con una concentración considerable de población. Tal es el caso de la cuenca del río La Sabana (estado de Guerrero), cuya población urbana se encuentra ubicada en la cabecera de Acapulco de Juárez, como consecuencia de la atracción de diversas actividades económicas como manufactura, construcción, servicios, comercio y otras actividades asociadas al turismo.

En el caso del análisis de la urbanización considerando el peso relativo de cada cuenca con respecto a la población urbana y a la población total nacional reportada para el año 2005, tenemos que el orden de prelación tenderá a ser diferente que los valores de urbani-

CUADRO 1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON MUY ALTA CONCENTRACIÓN DE POBLACIÓN URBANA, 2005

Nombre	Total de localidades de la cuenca	Población total de la cuenca	Localidades mayores a 15,000 hab.		Población en localidades consideradas urbanas		Índice de Urbanización
			Absolutos	Porcentaje	Absolutos	Porcentaje	
Río Tijuana	700	1,444,572	3	0.43	1,364,870	94.48	91.42
Río La Sabana	150	680,809	1	0.67	616,394	90.54	90.54
Río Sonora	1,389	733,347	2	0.14	672,858	91.75	88.57
Cuenca de San Luis Potosí	341	974,004	2	0.59	901,902	92.60	87.05
Cuenca de México	2,464	19,609,728	72	2.92	18,146,855	92.54	79.65
Río Bravo	12,551	9,825,587	47	0.37	8,988,284	91.48	77.11
Río Colorado	1,875	1,195,729	4	0.21	1,003,608	83.93	75.68
Arroyo El Cajoncito	28	189,305	1	3.57	189,176	99.93	74.95
Río Cuale	23	178,678	1	4.35	177,830	99.53	74.64
Punta Ensenada	89	270,723	1	1.12	260,075	96.07	72.05
Laguna Xmuchil	72	227,380	1	1.39	211,671	93.09	69.82
Arroyo Punta de Agua	57	119,049	1	1.75	110,728	93.01	69.76
Río Culiacán	2,439	914,247	4	0.16	678,770	74.24	68.22
Estero La Inicial	62	256,034	1	1.61	231,977	90.60	67.95
Río Santiago	10,877	6,917,209	35	0.32	5,370,176	77.64	66.44
Lago de Cuitzeo	670	937,021	1	0.15	608,049	64.89	64.89

Fuente: Elaboración propia con datos del II Censo de Población y Vivienda 2005, INEGI.

zación de cada cuenca; sin embargo este análisis concuerda con 11 de las cuencas que contienen la mayor cantidad de población dentro de sus límites (Véase apartado de *Población*). Por lo tanto, la cuenca de México es la que concentra la mayor parte de la población urbana del país, con un 28%, y con respecto a la población total nacional, corresponde aproximadamente al 17% (Cuadro 2). Esta concentración implica retos ambientales en la cuenca como son la extensión de áreas urbanas a costa de zonas con alto valor ecológico,⁴ problemas en la dotación de agua e insuficiente infraestructura de saneamiento, entre otros, haciéndola insostenible eco-hidrologicamente.

También se puede apreciar la importancia que adquieren otras cuencas a nivel nacional. Un ejemplo de esto es la cuenca Lerma-Chapala, la cual sólo concentra el 54% de población urbana con respecto al total de la población de la cuenca, que es de 9,829,683 habitantes⁵. Pero si consideramos el peso de su población urbana con respecto al nivel nacional podemos ver que concentra el 8.26% de la población urbana nacional y el 5.19% de la población total del país, cuestión que la hace una de las cuencas más complejas tanto por los altos niveles de contaminación como por la sobreexplotación de acuíferos, ambas situaciones asociadas a la urbanización y a las actividades industriales.

Para el análisis y diagnóstico de la condición en que se encuentran las cuencas hidrográficas del país es necesario considerar los procesos de urbanización, así como los factores sociales y económicos inmersos en el crecimiento de las ciudades. La concentración de la población en un lugar determinado, sea esta por aspectos asociados a la migración o a un crecimiento natural, condicionan un aumento en la demanda de vivienda, servicios e infraestructura que en ocasiones no son previstos o que rebasan la oferta de las cuencas. Estas situaciones, aunadas a las actividades económicas, inciden en las cuencas al presen-

tar retos mayores para un adecuado manejo integral de los recursos naturales que la componen. Los impactos generados por las ciudades sobrepasan sus límites físicos al buscar satisfacer las necesidades de una población creciente que demanda un mayor número de insumos para su subsistencia (agua, alimentos, energía, etcétera). Asimismo, las afectaciones en la salud de la población por el incremento de la contaminación de residuos y de aguas son otros problemas a considerar al mermar la calidad de vida de los habitantes urbanos.

De esta manera, podemos concluir que las causas y efectos de la urbanización se deben analizar desde diversas dimensiones —sociales, económicas, políticas, ambientales y culturales— que permitan generar soluciones o estrategias integrales a un problema complejo. Se requiere esfuerzos coordinados basados en una mayor corresponsabilidad por parte de las urbes para resarcir de forma más activa sus externalidades diluidas en el territorio.

¹ Se consideran localidades urbanas las que tienen más de 15,000 habitantes (Unikel, L. *et al.*, 1976).

² Se encuentran fuera del marco legal estipulado por el estado para el desarrollo urbano, al mismo tiempo de que carecen completa o parcialmente de servicios e infraestructura.

³ La concentración de la población nos permite inferir si una localidad es considerada urbana o rural, ya que la dotación de equipamientos e infraestructura son establecidos por rangos de población que constituyen la jerarquía urbana y por lo tanto el nivel de servicios que las localidades requieren de acuerdo a su tamaño. Véase Sistema Normativo de Equipamiento Urbano, SEDESOL, 2006.

⁴ “La mancha urbana de las ciudades del Sistema Urbano Nacional está creciendo a razón de 16,000 ha por año, es decir, cerca de 50 hectáreas por día. Si consideramos que la huella ecológica está creciendo a un ritmo más acelerado, tenemos un reto formidable para la sustentabilidad.” (Topelson, 2007).

⁵ Población total considerando los cortes por localidad para el año 2005.

CUADRO 2. CUENCAS HIDROGRÁFICAS CON MAYOR CONCENTRACIÓN DE POBLACIÓN URBANA PARA EL 2005 CONSIDERANDO SU PESO A NIVEL NACIONAL

Nombre	Población en localidades consideradas como urbanas	% con respecto a la población total nacional*	% con respecto a la población urbana nacional**
Cuenca de México	18,146,855	17.60	28.05
Río Bravo	8,988,284	8.72	13.89
Río Santiago	5,370,176	5.21	8.30
Lerma-Chapala	5,345,918	5.19	8.26
Río Balsas	4,565,235	4.43	7.06
Península de Yucatán	1,741,395	1.69	2.69
Grijalva-Usumacinta	1,736,871	1.68	2.68
Río Pánuco	1,511,003	1.47	2.34
Río Tijuana	1,364,870	1.32	2.11
Río Papaloapan	1,118,947	1.09	1.73
Río Nazas	1,067,964	1.04	1.65
Río Colorado	1,003,608	0.97	1.55
Cuenca de San Luis Potosí	901,902	0.87	1.39
Río Culiacán	678,770	0.66	1.05
Río Sonora	672,858	0.65	1.04

* La población total nacional para 2005 era de 103,263,388 habitantes.

** La población urbana nacional para 2005 era de 64,701,936 habitantes.

Fuente: Elaboración propia con datos del II Censo de Población y Vivienda, INEGI, 2005.



FOTO: VIVIANA TORANZO

MARGINACIÓN SOCIOECONÓMICA EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

CARLOS ANZALDO GÓMEZ, ERIC ALAN BARRÓN LÓPEZ Y MINERVA PRADO LÓPEZ

INTRODUCCIÓN

LA MARGINACIÓN es un fenómeno estructural que se manifiesta tanto en la dificultad para propagar el avance técnico en el conjunto de la estructura productiva y en las regiones del país, como en la exclusión de grupos sociales del proceso de desarrollo y del disfrute de sus beneficios (CONAPO, 2007: 11).

Los procesos que modelan la marginación conforman una precaria estructura de oportunidades sociales para los individuos, familias y comunidades que son expuestos a privaciones y riesgos que a menudo escapan a su control y promueven su vulnerabilidad, y cuya reversión requiere el concurso activo de los agentes públicos, privados y sociales.

No obstante su carácter multidimensional, algunas de las formas, intensidades e implicaciones sociodemográficas y territoriales de la marginación pueden ser valoradas mediante medidas sintéticas. Dichas medidas analítico-descriptivas son útiles para la planeación del desarrollo, dado que permiten diferenciar unidades territoriales según la intensidad de las privaciones que padece su población, así como establecer órdenes de prioridad en las

políticas públicas orientadas a mejorar la calidad de vida de las personas y a fortalecer la justicia distributiva en el ámbito local.

El índice de marginación es una medida resumen que permite diferenciar a las cuencas y sus respectivas zonas funcionales según el impacto global de las privaciones que padece la población, como resultado de la falta de acceso a la educación, la residencia en viviendas inadecuadas y la carencia de bienes. En la Figura 1 se muestran las dimensiones, formas de exclusión e indicadores socioeconómicos que sintetiza el índice de marginación. Éstos miden la intensidad de la exclusión como proporción de la población que no participa del disfrute de bienes y servicios esenciales para el desarrollo de sus capacidades básicas.

La estimación del índice de marginación se realizó con base en los resultados definitivos del *II Censo de Población y Vivienda 2005* a nivel localidad. Esta fuente de información, a su vez, permitió asignar los datos de las localidades censales a las zonas funcionales de las cuencas a las que pertenecen, mediante el manejo de un sistema de información geográfica.

El índice y grado de marginación se estimó para 868 zonas funcionales de un total de

1,185 donde reside prácticamente el 100 por ciento de la población reportada en el Censo 2005. Las 317 zonas funcionales restantes contienen únicamente localidades de una y dos viviendas, sujetas al principio de confidencialidad que marca la Ley General de Información Estadística y Geográfica, por lo que no fue posible determinar su índice y grado de marginación.

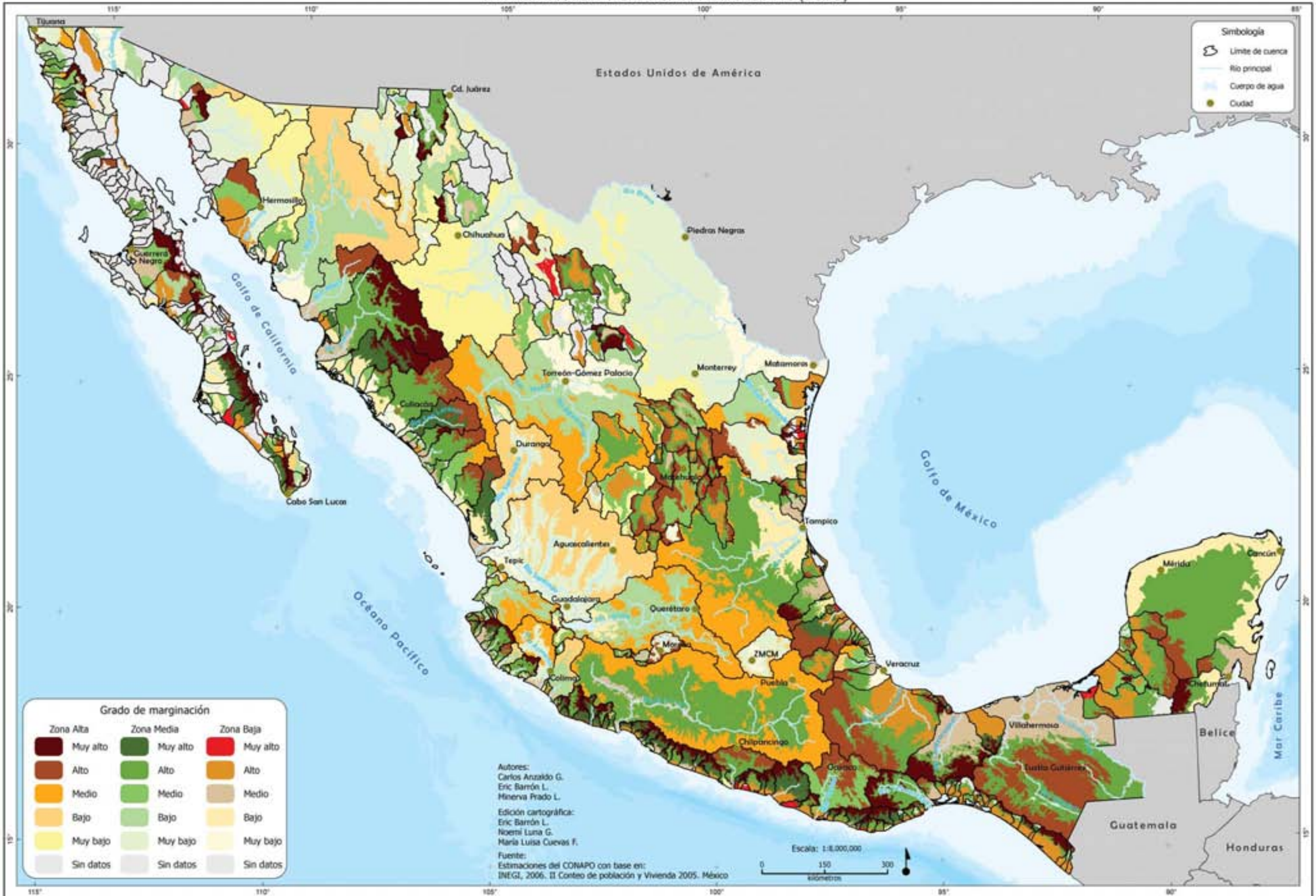
GRADO DE MARGINACIÓN POR ZONA FUNCIONAL

El grado de marginación de las zonas funcionales permite observar las variaciones espaciales de la marginación al interior de las cuencas hidrográficas, fenómeno que a su vez incide en la dinámica ambiental, económica y social propia de cada cuenca.

Figura 1. Esquema conceptual de la marginación a nivel de zona funcional y localidad.



MARGINACIÓN POR ZONA FUNCIONAL (2005)





CUADRO 1. ZONAS FUNCIONALES Y POBLACIÓN SEGÚN GRADOS DE MARGINACIÓN, 2005¹

Zona funcional	Total	Grados de marginación				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Zonas funcionales	868	200	330	133	119	86
Zonas altas	237	101	80	26	19	11
Zonas medias	293	68	122	44	32	27
Zonas bajas	338	31	128	63	68	48
Porcentaje de zonas funcionales	100.0	23.0	38.0	15.3	13.7	9.9
Zonas altas	100.0	42.6	33.8	11.0	8.0	4.6
Zonas medias	100.0	23.2	41.6	15.0	10.9	9.2
Zonas bajas	100.0	9.2	37.9	18.6	20.1	14.2
Población	103,261,695	1,715,657	16,959,268	20,113,608	16,160,124	48,313,038
Zonas altas	23,006,922	771,253	5,018,035	12,987,393	1,969,819	2,260,422
Zonas medias	43,862,574	874,486	9,467,444	1,852,485	7,345,956	24,322,203
Zonas bajas	36,392,199	69,918	2,473,789	5,273,730	6,844,349	21,730,413
Porcentaje de población	100.0	1.7	16.4	19.5	15.6	46.8
Zonas altas	100.0	3.4	21.8	56.4	8.6	9.8
Zonas medias	100.0	2.0	21.6	4.2	16.7	55.5
Zonas bajas	100.0	0.2	6.8	14.5	18.8	59.7

¹ No se consideran 317 zonas funcionales con una población de 1,693 habitantes: 57 zonas bajas con 331 habitantes; 102 zonas medias con 590 habitantes y 158 zonas altas con 772 habitantes.

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005.

Del universo de 868 zonas funcionales analizadas, 530 muestran grados de marginación *alto* y *muy alto*, lo que representa 61% del total y en ellas residen 18.7 millones de habitantes (18.1% del total de la población del país); 133 zonas se clasifican en el estrato de marginación medio (15.3% de las zonas funcionales), con 20.1 millones de personas (19.5%); en tanto, 205 zonas tienen grados de marginación bajo y muy bajo, lo que equivale al 24% del total, donde residen más de 64 millones de habitantes, es decir, el 62.4% de la población del país (véase Cuadro 1).

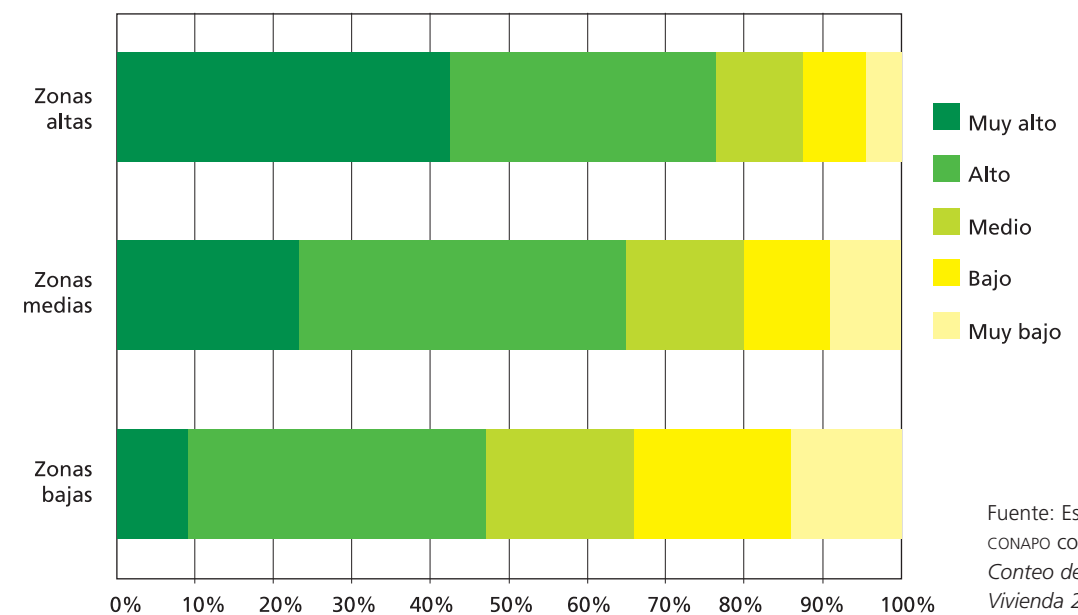
Las zonas bajas se muestran como las zonas funcionales con mejores condiciones socioeconómicas. Más de la mitad de estas zonas (52.9%) presenta grados de marginación medio (18.6%), bajo (20.1%) y muy bajo (14.2%), lo que las posiciona como los territorios con una distribución de satisfactores básicos más propicia entre su población (Mapa 1). En contraste, las zonas medias y altas se caracterizan por presentar condiciones socioeconómicas más desfavorables. Casi dos de cada tres zonas medias muestran grados de marginación *alto* (41.6%) y *muy alto* (23.2%);

proporción que en las zonas altas asciende a tres de cada cuatro zonas funcionales, con una menor participación de las zonas con grado de marginación *alto* (33.8%) y aumento considerable en el peso de las de zonas con grado de marginación *muy alto* (42.6%), respecto del grupo anterior (véase Figura 1).

Estas desigualdades en la incidencia de la marginación se relacionan de manera importante con las condiciones físico-geográficas que definen a cada tipo de zona funcional, particularmente en las zonas altas, donde el relieve abrupto y con mayores pendientes dificulta la accesibilidad y la agricultura, y en ocasiones determina un menor acceso de la población al recurso hídrico, lo que a su vez limita fuertemente sus oportunidades de desarrollo económico y social.

En términos absolutos, la distribución de la población por zona funcional según grado de marginación presenta una elevada concentración en las zonas medias y bajas con muy bajo grado de marginación, las cuales soportan a 24.3 y 21.7 millones de habitantes, respectivamente, es decir, a casi 45% de la población nacional. En las zonas altas, el volumen de

Figura 1. Distribución de las zonas funcionales según grado de marginación, 2005.



Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005.

población en zonas con muy bajo grado de marginación se reduce a 2.3 millones de habitantes, mientras que la población en zonas con grado de marginación medio ocupa la tercera posición con 13 millones de habitantes, 12.6% de la población total; entre las que destacan zonas altas de cuencas de gran importancia demográfica y económica para el país, como la del río Balsas, Lerma-Chapala, río Pánuco y cuenca de México (véase Figura 2).

GRADO DE MARGINACIÓN POR LOCALIDAD

Sin embargo, por un efecto de agregación geográfica, el análisis a nivel de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas oculta la diversidad de situaciones de marginación que prevalecen a su interior, especialmente en aquellas zonas funcionales de mayor tamaño, en su mayoría clasificadas con grados de marginación bajo y muy bajo, donde persiste un importante número de personas en asentamientos con fuertes rezagos. Para subsanar parcialmente esta limitación, a continuación se analiza la distribución de la marginación entre las localidades de las zonas funcionales.

En el Cuadro 2 se aprecia que 78% de las localidades ubicadas en las zonas altas de las cuencas hidrográficas presentan grados de marginación *alto* y *muy alto*, donde reside casi la tercera parte (32.1%) de su población total. En estas mismas zonas altas, las localidades con grados de marginación *bajo* y *muy bajo* (menos de 12%), concentran a más de la mitad de la población (55.7%). En las zonas medias la proporción de localidades con *alto* y *muy alto* grado de marginación desciende a 72% y su peso demográfico a 17%, es decir a casi la mitad del observado en las partes altas, en tanto 15% de las localidades se ubican en los estratos de marginación bajo y muy bajo, las cuales alojan tres cuartas partes de la población. Finalmente, en las zonas bajas seis de cada diez localidades presentan grados de marginación *alto* y *muy alto*, pero dado su tamaño reducido, éstas únicamente soportan menos de diez por ciento de la población; en cambio, 23% de las localidades registran grados de marginación bajo y muy bajo y concentran 85% de la población (véase Figura 3).

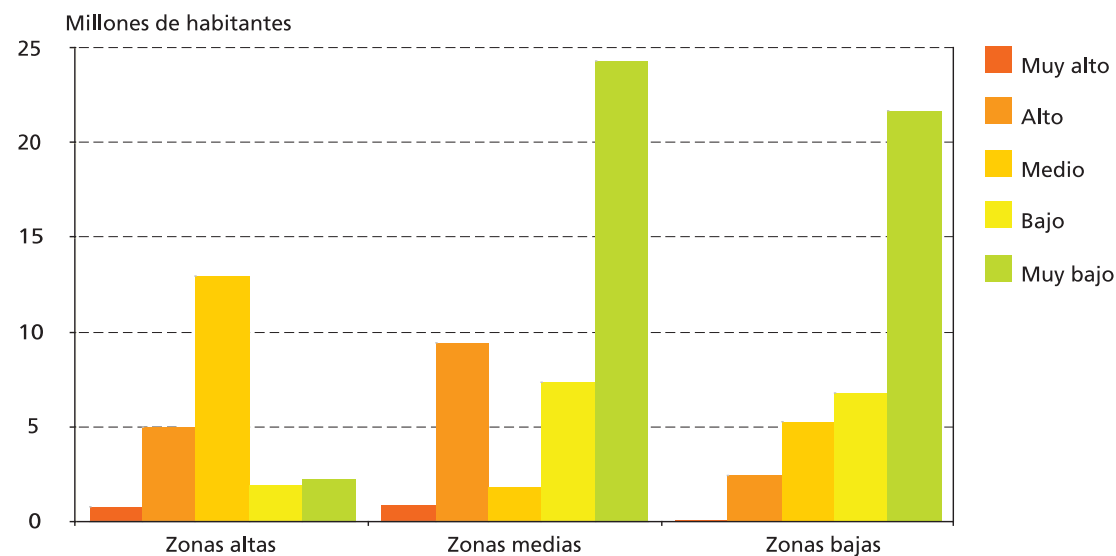
En términos absolutos, la distribución de la marginación a nivel localidad muestra impor-

CUADRO 2. LOCALIDADES Y POBLACIÓN TOTAL POR TIPO DE ZONA FUNCIONAL, SEGÚN GRADO DE MARGINACIÓN A NIVEL LOCALIDAD, 2005						
Zona funcional	Total	Grados de marginación a nivel localidad				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Localidades	104,359	27,365	47,239	13,616	10,730	5,409
Zonas altas	37,154	12,515	16,365	4,002	2,923	1,349
Zonas medias	45,798	11,845	21,002	5,922	4,640	2,369
Zonas bajas	21,407	3,005	9,852	3,692	3,167	1,691
Porcentaje de localidades	100.0	26.2	45.3	13.0	10.3	5.2
Zonas altas	100.0	33.7	44.0	10.8	7.9	3.6
Zonas medias	100.0	25.9	45.9	12.9	10.1	5.2
Zonas bajas	100.0	14.0	46.0	17.2	14.8	7.9
Población	102,752,844	3,242,342	14,634,891	8,612,284	15,539,599	60,723,728
Zonas altas	22,865,452	1,788,054	5,546,658	2,800,899	4,324,112	8,405,729
Zonas medias	43,636,241	1,231,540	6,159,472	3,506,823	5,049,395	27,689,011
Zonas bajas	36,251,151	222,748	2,928,761	2,304,562	6,166,092	24,628,988
Porcentaje de población	100.0	3.2	14.2	8.4	15.1	59.1
Zonas altas	100.0	7.8	24.3	12.2	18.9	36.8
Zonas medias	100.0	2.8	14.1	8.0	11.6	63.5
Zonas bajas	100.0	0.6	8.1	6.4	17.0	67.9

Nota: No se consideran 83,161 localidades de una y dos viviendas con una población de 454,500 habitantes, ni tampoco 418 localidades sin información de viviendas particulares con una población de 56,044 personas.

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005.

Figura 2. Distribución de población por zona funcional, según grado de marginación, 2005.



Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005.



FOTO: ALVARO FIGUEROA



tantes diferencias entre las zonas funcionales, observándose en general una alta concentración poblacional (63.5 millones de personas) en relativamente pocas localidades (11,867) con bajos niveles de marginación, situadas en las zonas bajas y medias; así como un importante volumen de personas (14.7 millones) en decenas de miles de localidades pequeñas (61,747) con *alto* y *muy alto* grado de marginación, distribuidas en las zonas medias y altas. No obstante, cabe señalar que casi una de cada seis personas que residen en localidades con grados de marginación *alto* y *muy alto* (más de 3.1 millones de un total 17.9 millones) se asientan en las zonas bajas de las cuencas hidrográficas.

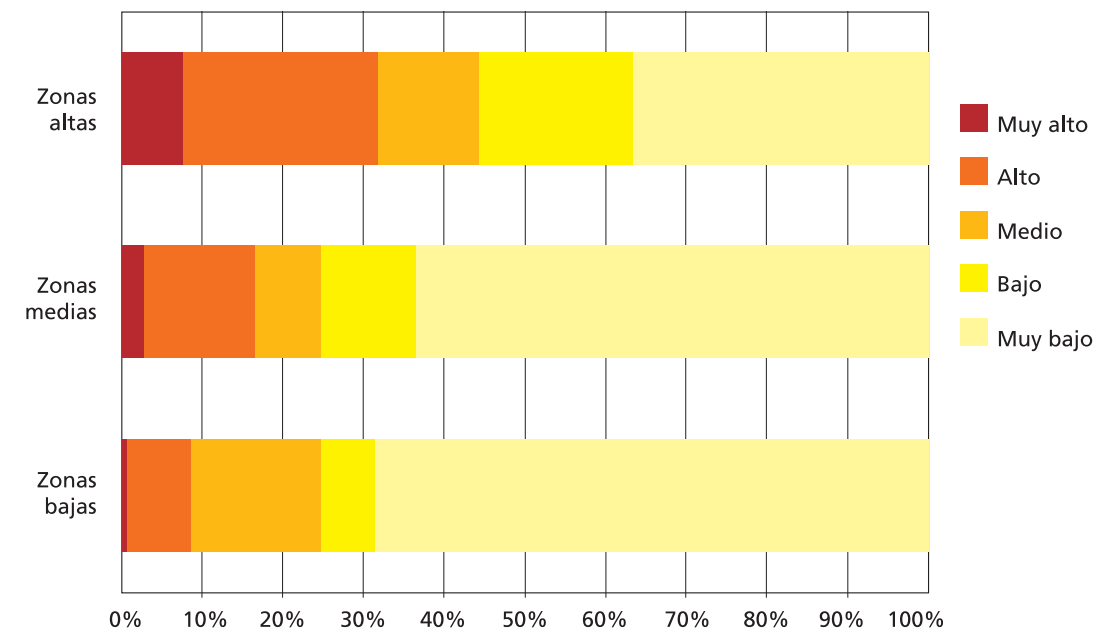
Estas variaciones espaciales de la marginación, se encuentran ligadas a las características propias del territorio, y por supuesto, al nivel de agregación al que está vinculado el propio análisis.

En México, las zonas medias y bajas son los territorios que ofrecen las mejores condiciones para el desarrollo y bienestar de la población. Los resultados del índice de marginación por zona funcional así lo demuestran al posicionarlas como los espacios con menor proporción de población en localidades con *alto* y *muy alto* grado de marginación. Esto es gracias a que históricamente gran parte de estas zonas presentaron condiciones físico-geográficas —relieve, agua, suelo, vegetación y fauna— favorables para desarrollar grandes núcleos urbanos como los localizados en el centro del país. Precisamente la urbanización encontró en los recursos naturales de estas zonas el nicho para su expansión y consolidación, pero, al mismo tiempo, es uno de los principales factores que hoy día impactan al medio ambiente mermando en gran medida sus recursos naturales.

Actualmente, cuencas grandes como la de México o Lerma-Chapala funcionan como ejes articuladores del desarrollo regional, gracias a la presencia de recursos naturales, el importante volumen de su población —cerca a los 29 millones de habitantes— y la presencia de importantes economías industriales, agrícolas o de negocios a su interior. Sin embargo, su entorno ambiental es frágil por la afectación de sus recursos naturales, en especial en las zonas altas, a través de la tala inmoderada de zonas boscosas —que acelera fenómenos como la erosión hídrica—, la contaminación de ríos y suelos, la disminución en la recarga de acuíferos y la fuerte presión sobre el recurso agua, o bien la desertificación de extensas áreas, perjudicando los sistemas ecológicos y sociales de las zonas medias y bajas.

Por el otro lado, están las cuencas hidrográficas de menor jerarquía debido a su menor extensión territorial, tamaño de población e importancia económica. Generalmente se trata de regiones rurales que disponen de recursos naturales importantes, cuya fragilidad y deterioro ambiental también es alto, además que

Figura 3. Distribución de población por zona funcional, según grado de marginación a nivel localidad, 2005.



Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el II Censo de Población y Vivienda 2005.

no cuentan con la infraestructura básica y carretera adecuada, especialmente en las zonas altas. En este sentido, se identificaron 181 zonas altas con *alto* y *muy alto* grado de marginación, cuyos territorios se caracterizan por presentar un mayor relieve; esto crea un entorno de limitada accesibilidad física que dificulta la obtención de satisfactores que posibiliten su desarrollo social y económico. Ejemplo de ello son las 101 zona altas que presentaron *muy alto* grado de marginación, cuya localización corresponde a regiones históricamente rezagadas, como la Montaña en Guerrero, la Mixteca en Oaxaca o la Tarahumara en Chihuahua, o bien la Sierra Sur del estado de Oaxaca, que mantiene la zona alta de la cuenca del río Zimatán, la cual presenta el índice de marginación más alto de todas las zonas funcionales del país.

La mayor intensidad de la marginación en las zonas altas a su vez afecta a las zonas medias y bajas. El impacto ambiental de las zonas altas es particularmente importante, ya

que los recursos naturales de que disponen son el principal medio de subsistencia de las comunidades. Su sobreexplotación determina, en muchas ocasiones, que se produzcan cambios en el uso del suelo que provocan la degradación del suelo y la erosión fluvial, afectando la captación de agua en la misma cuenca; esto termina por alterar el funcionamiento hidrológico de la región en su conjunto.

Desde esta perspectiva, se vislumbran grandes desafíos para el manejo integral de las cuencas hidrográficas de México, entre los que destaca la necesidad de articular los esfuerzos dirigidos al control y mejoramiento del ambiente con los orientados al desarrollo económico y social de las localidades, especialmente de aquellas con los mayores niveles de marginación. Es allí donde es primordial promover el desarrollo de actividades económicas que amplíen las oportunidades de empleo e ingreso de la población sobre la base del aprovechamiento sustentable de sus recursos naturales.



FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

FOTO: ÁLVARO FIGUEROA

MIGRACIÓN INTERCUENCAS

IGNACIO MACÍN PÉREZ

A LO LARGO DEL SIGLO XX, México experimentó fuertes transformaciones en diversas esferas, principalmente en la económica, social, política y demográfica. A partir del término de la revolución mexicana y de los avances en salud, tecnología y una mejor cobertura educativa en el país, se inició una mejora sustancial en los niveles de vida. En el ámbito demográfico los cambios se dieron con tal rapidez durante la segunda mitad del siglo xx, que aún son visibles en las estructuras de población a nivel nacional. Las tasas de mortalidad y fecundidad pasaron de altos niveles en la década de los sesenta, a niveles bajos y controlados al final del siglo. Por su parte, la migración ha ido cobrando cada vez mayor importancia en la delineación del perfil demográfico de México.

La migración interna siempre se ha considerado como causa y efecto de los diferentes niveles de desarrollo alcanzados por ciudades y regiones. Se le ha visto como estrategia de sobrevivencia de los hogares, como agente desequilibrante de los mercados de trabajo, como causa de los cambios en la conducta y el comportamiento de las personas y, dentro de la dinámica demográfica en su conjunto, como determinante fundamental de la distribución territorial de la población de un país. Es también uno de los componentes que defi-

nen el crecimiento y composición por edad y sexo de una población (Ávila, 2002).

El fenómeno migratorio interno e internacional se descompone en dos partes: los inmigrantes y los emigrantes. Los primeros se refieren a los flujos que llegan y los segundos a los que salen de alguna unidad geopolítica, en este caso la cuenca hidrográfica.

La medición de la migración en este trabajo se ha realizado a partir de información extraída y corregida del *XII Censo de Población y Vivienda 2000* y el *II Conteo de Población y Vivienda 2005*, disponible a nivel municipal. Al sumar la población de los municipios que se definen como parte de una cuenca se obtiene la población que migró hacia y desde ésta. Para el análisis de la migración intercuencas se utilizó el porcentaje de población que cambió de cuenca de residencia entre 2000 y 2005 respecto al total de población de la cuenca en 2005.

En lo que respecta a los altos volúmenes de *inmigrantes*, sobresalen las cuencas de México, río Bravo y río Balsas (332 mil, 330 mil y 316 mil personas respectivamente) (Véase Mapa en DVD). Por otra parte las cuencas con mayor número de *emigrantes* fueron las cuencas de México, río Balsas y Lerma-Chapala (494 mil, 276 mil y 207 mil respectivamente) (Mapa en DVD adjunto). Es así que al calcular el saldo neto migratorio¹ se observa que las cuencas del río Bravo, península de Yucatán y río Tijuana registraron ganancias en

su población con 208 mil, 114 mil y 90 mil habitantes respectivamente. En el otro extremo se encuentran las cuencas que perdieron habitantes, como la cuenca de México, Grijalva-Usumacinta y río Papaloapan con 163 mil, 80 mil y 46 mil habitantes respectivamente.

Diversos estudios sobre migración interna dan cuenta de la alta movilidad que se da principalmente entre ciudades de tamaño

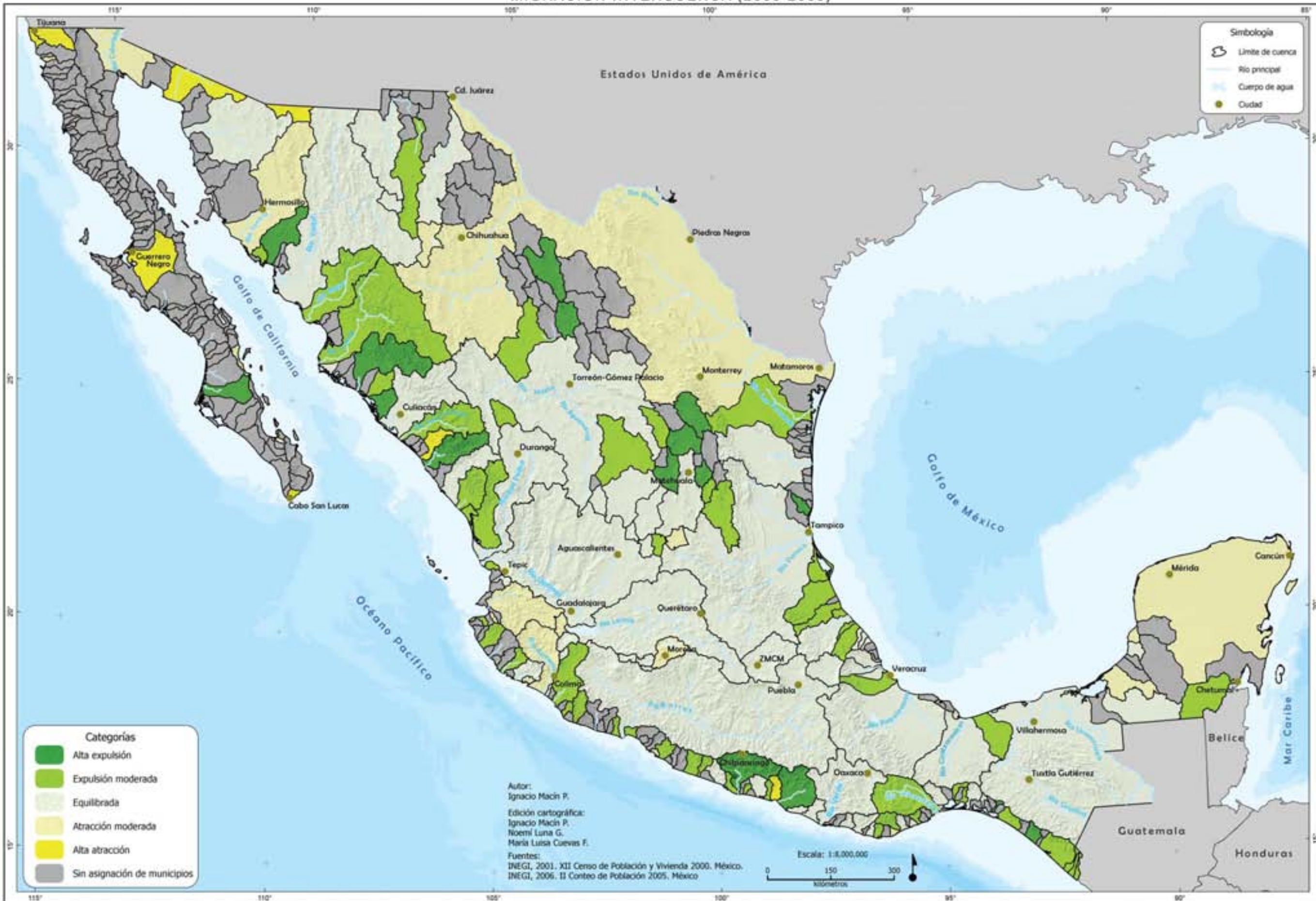
medio y grande (100 mil a un millón y un millón y más habitantes, respectivamente; Partida, 2006; Anzaldo, 2006), y dado que muchas de ellas se encuentran en cuencas de gran tamaño, no es raro encontrar que grandes aglomeraciones urbanas se localicen en las cuencas de río Bravo, Lerma-Chapala, río Balsas, río Santiago o la de México (ver Cuadro 1).

CUADRO 1. POBLACIÓN Y MIGRANTES DE LAS CUENCAS CON MÁS DE UN MILLÓN DE HABITANTES, 2005

Cuenca	Población	ABSOLUTOS			RELATIVOS		
		Emigrantes	Inmigrantes	Saldo neto migratorio	Emigrantes	Inmigrantes	Saldo neto migratorio
Cuenca de México	19,476,866	494,391	331,505	-162,886	2.5	1.7	-0.8
Río Bravo	9,804,222	122,434	329,998	207,564	1.2	3.4	2.1
Lerma-Chapala	9,771,330	207,272	259,884	52,612	2.1	2.7	0.5
Río Balsas	9,758,078	276,348	316,180	39,832	2.8	3.2	0.4
Río Santiago	6,874,041	137,414	173,802	36,388	2.0	2.5	0.5
Grijalva-Usumacinta	5,201,096	128,227	48,138	-80,089	2.5	0.9	-1.5
Río Pánuco	5,194,909	151,807	121,284	-30,523	2.9	2.3	-0.6
Río Papaloapan	3,276,336	106,474	60,250	-46,224	3.2	1.8	-1.4
Península de Yucatán	2,773,184	34,703	148,396	113,693	1.3	5.4	4.1
Río Nazas	1,698,165	49,374	33,875	-15,499	2.9	2.0	-0.9
Río Tijuana	1,466,501	49,514	139,486	89,972	3.4	9.5	6.1
Río Verde	1,278,082	43,709	44,372	663	3.4	3.5	0.1
Río Tecolutla	1,107,065	36,544	22,646	-13,898	3.3	2.0	-1.3
Río Jamapa	1,071,967	70,823	46,357	-24,466	6.6	4.3	-2.3
Cuenca de San Luis Potosí	1,003,418	23,193	38,325	15,132	2.3	3.8	1.5
Río Colorado	1,000,554	21,863	51,634	29,771	2.2	5.2	3.0

Fuente: Estimaciones del CONAPO basadas en INEGI, *XII Censo de Población y Vivienda 2000* y *II Conteo de Población y Vivienda 2005*.

MIGRACIÓN INTERCUENCA (2000-2005)



Las actividades industriales han tendido a localizarse en ciudades de tamaño medio más que en las grandes metrópolis, mientras que el sector agropecuario acusa una pérdida continua de dinamismo; su modernización se concentra en el sector empresarial ubicado en el noreste y noroeste del país. Estos fenómenos atraen a buena parte de la fuerza de trabajo de las regiones más empobrecidas del país, alentando el abandono de tierras otrora fértiles, las que además se han erosionado ante la falta de apoyo a los pequeños productores (Partida, 2006).

Considerando que la migración se va convirtiendo en el principal determinante de la distribución territorial de la población, se debe prestar especial atención a las demandas de agua derivadas del incremento migratorio sobre regiones localizadas en cuencas donde existe una fuerte presión sobre el recurso agua y su disponibilidad natural es baja. Ejemplo de ello lo constituyen algunas cuencas situadas en el norte del país (Saavedra, 2003).

Entre 2000 y 2005 se contabilizaron poco más de 3.1 millones de personas que cambiaron de cuenca de residencia. De acuerdo a estimaciones basadas en el *II Censo de Población y Vivienda 2005*, éstas declararon estar viviendo en una cuenca distinta a la registrada originalmente; no sorprende que los mayores flujos

migratorios ocurrieran en las cuencas más pobladas; en tan sólo 16 de ellas habitaba el 78.7 por ciento de la población del país.²

Utilizando un método estadístico conocido como *análisis de conglomerados* se construyeron cinco categorías con las que se clasificaron las 154 cuencas con municipios asignados. Cada grado agrupa cuencas que tienen similitudes en el porcentaje de población migrante 2000-2005 (Ver Mapa). Las categorías son: *alta expulsión*, *expulsión moderada*, *equilibrada*, *atracción moderada* y *alta atracción*.

Se consideraron cuencas de *alta expulsión* a aquellas que registraron las mayores pérdidas de población respecto al total. Existen 16 (10.4%) en esta clasificación; en ellas habitaban 1.4 millones de personas (1.4%). Sólo tres cuencas rebasaron los 250 mil habitantes, en el resto (13) la media fue de 29 mil personas. Son notorios los casos de río Papagayo y río Quetzala de donde han migrado hacia otras cuencas, entre 2000 y 2005, el equivalente a uno de cada diez habitantes (10.1% y 9.1%, respectivamente).

Las cuencas de *expulsión moderada* se conformaron por el grupo que registró pérdidas relativas que iban de -4.9 a -2.1 por ciento en el saldo neto migratorio. Se identificaron 52 cuencas donde vivían poco más de

7.3 millones de personas (7.1%). En las cuencas de río Jamapa, río La Sabana, río Tuxpan, río Cazones y río Bobos vivían 3.2 millones de habitantes (44% de este estrato), los otros 4.1 millones se distribuyeron entre las 47 cuencas restantes.

A nivel nacional hay 58 cuencas en *equilibrio*, registrando porcentajes entre -2.1 y 0.9. En este estrato se encuentran aquellas que registraron poca o ninguna pérdida, o una ganancia poblacional pequeña respecto al total que en ellas habitaba. Resaltan algunas de las cuencas más pobladas del país, como la cuenca de México (19.5 millones de habitantes), río Balsas (9.8 millones), Lerma-Chapala (9.8 millones), río Santiago (6.9 millones), río Pánuco (5.2 millones) y Grijalva-Usumacinta (5.2 millones). Se registró un total de 1.4 millones de personas que emigraron hacia otras cuencas. Por su parte inmigraron cerca de 1.3 millones de habitantes entre 2000 y 2005.

En la categoría de cuencas de *atracción moderada* se identificaron 20 que en 2005 albergaban a 19 millones de habitantes (18.6%). Las más notorias por tamaño son la cuenca del río Bravo (9.9 millones), la península de Yucatán (2.8 millones), río Colorado (un millón) y la cuenca de San Luis Potosí (un millón); sólo estas cuatro, en conjunto, alber-

gaban a 14.6 millones de personas y se caracterizan por haber registrado modestas ganancias poblacionales en términos relativos, con cifras que oscilaban de 1.3 a 4.8 por ciento. Otro distintivo es la fuerte actividad industrial y turística que albergan algunas de las ciudades, lo que las vuelve atractivas como centros de trabajo; esto explica en buena medida el volumen de migrantes.

Como cuencas de *alta atracción* se consideraron aquellas donde se observaron ganancias por migración con más de 6.1 por ciento. Lo conforman ocho cuencas donde residían 2.1 millones de habitantes. La cuenca más poblada de este grupo era río Tijuana (1.5 millones). Llamen la atención las cuencas de arroyo El Salto (160 mil habitantes), arroyo El Descanso (72 mil habitantes) y río Marquelia (53 mil habitantes) en donde se registró que más del 10 por ciento de sus habitantes provenían de alguna otra cuenca. En el caso de arroyo El Salto uno de cada cinco habitantes era inmigrante³ (ver Cuadro 2).

La migración es un fenómeno complejo que existe por diferentes causas: económicas, políticas y sociales, y tiene importantes consecuencias que afectan el rumbo de regiones completas. La migración intracuenca oculta la intensidad de flujos que existen al interior de las mismas, ya sea entre ciudades o municipios.

CUADRO 2. CUENCAS Y POBLACIÓN POR GRADO DE MIGRACIÓN INTERCUENCAS, 2000-2005

Grado	Valores extremos de las categorías migratorias		Cuencas		Población	
	Mínimo	Máximo	Absoluto	Relativo	Absoluto*	Relativo
Alta expulsión	-10.15	-5.09	16	10.4	1.4	1.4
Expulsión moderada	-4.86	-2.09	52	33.8	7.3	7.1
Equilibrio	-2.06	0.87	58	37.7	72.7	70.9
Atracción moderada	1.32	4.81	20	13.0	19.1	18.6
Alta atracción	6.14	20.14	8	5.2	2.1	2.1

Fuente: Estimaciones del CONAPO basadas en INEGI, *XII Censo de Población y Vivienda 2000 y II Censo de Población y Vivienda 2005*.

*Millones de habitantes.



FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

¹ La diferencia entre los flujos de personas que entran y salen de una cuenca produce el saldo neto migratorio; de acuerdo al signo de éste se sabe si al final de un período la cuenca ganó (positivo) o perdió (negativo) población por concepto de migración.

² Para el análisis de la migración intercuencas se utilizó el porcentaje de población que cambió de cuenca de residencia entre 2000 y 2005 respecto al total de población de la cuenca en 2005.

³ Para ver un listado completo de las cuencas con su Grado de Migración Intercuenca y algunos indicadores de población, consultar el cuadro en DVD adjunto.

FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

ACTIVIDADES ECONÓMICAS



ACTIVIDADES ECONÓMICAS DOMINANTES (2004)



ORIENTACIÓN SECTORIAL

FELIPE FLORES VICHY Y VERÓNICA BUNGE

LOS SECTORES ECONÓMICOS impactan al medio ambiente de manera, dimensión e intensidad diferente, por ello es conveniente analizar su distribución en el territorio para reconocer los recursos que pudieran estar más presionados a nivel espacial. El mapa de este apartado muestra la orientación sectorial de la economía tomando en cuenta la participación de la población ocupada por sector económico en relación a la población ocupada total.

Vale la pena señalar que, entre 1900 y 2000, la población mexicana pasó de 14 a 101 millones de habitantes (CONAPO, 2004). En el mismo periodo, la población ocupada en el sector primario pasó de representar al 60% de la población ocupada a menos del 14% de esta misma población. Asimismo, mientras que en el año 1900 el sector primario generaba el 35% del Producto Interno Bruto (PIB), en el año 2000 aportaba apenas el 5.4% del PIB nacional.

En la actualidad son los sectores industrial y de servicios los que generan más del 90% del PIB nacional, con una aportación de 26% y

65%, respectivamente. El aumento poblacional, aunado a una conversión de las actividades agropecuarias hacia actividades industriales y de servicios, redundó no sólo en un crecimiento de la economía de casi 30 veces en el transcurso del siglo xx, sino también en un nuevo patrón de ocupación del territorio.

La orientación sectorial por cuencas se analizó desde dos perspectivas: una que hace referencia a la distribución de la población ocupada de forma porcentual a nivel nacional, y otra que representa la concentración sectorial al interior de la cuenca hidrográfica. En el primer caso, se ordenaron de forma descendente los porcentajes de población ocupada por sector, y se consideraron sólo aquellas cuencas que en su conjunto representaban el 50% de la fuerza de trabajo para cada actividad económica. En el segundo caso, el nivel de concentración de la población por sector dentro de la cuenca se determinó mediante los porcentajes dominantes. En el primer caso, el objetivo del indicador consistió en cuantificar el nivel de concentración de la población por actividad a nivel nacional, mientras que en el segundo caso, el objetivo fue iden-

tificar el perfil económico de la cuenca hidrográfica a partir de la fuerza de trabajo utilizada.

Finalmente, se realizó el análisis con los sectores que tienen un impacto ambiental significativo: pesca, minería, manufactura, construcción y turismo. El sector turismo se construyó a partir de las actividades características y conexas del sector.

A nivel nacional, la concentración de la población en la República Mexicana es de tal magnitud que el 70% de ésta se agrupa en nueve cuencas (Figura 1). Con base en los censos económicos de INEGI (1999), la distribución de la población ocupada muestra que las actividades primarias —que en este caso no incluyen al sector agropecuario— concentraban el 2% de la fuerza de trabajo, mientras que las actividades secundarias y terciarias contenían el 37% y 61%, respectivamente.

Para el año 2004, el patrón de ocupación cambió; la población ocupada en el sector secundario disminuyó y pasó a representar al 31% de la fuerza de trabajo y el sector terciario representó al 67% de la población ocupada (INEGI, 2004).

En el año 2004, la mitad de la población ocupada en el sector pesquero se concentró en 12 cuencas, mientras que las actividades de minería, construcción y turismo concurrieron en cuatro cuencas. Asimismo, la manufactura se vinculó sólo a tres cuencas.

Resulta también comprensible que las cuencas que concentran a la mayor población del país, son las mismas que agrupan al mayor porcentaje de las personas que trabajan en los sectores de manufactura y construcción; ambas actividades son las que mayor mano de obra demandan.

Las cuencas de México y río Bravo destacan por su alta diversidad de actividades, ambas agrupan a una importante proporción de la población ocupada en los sectores minero, construcción, manufactura y turismo. Concentran la cuarta parte de la fuerza de trabajo del sector minero, la tercera parte de las actividades relacionadas con la construcción y el turismo, y casi la mitad de la industria manufacturera (Cuadro 1).

A nivel de cuenca, en el año 2004, el 81% de las cuencas del país concentraban a la pobla-



Figura 1. Cuencas con mayor concentración de población, 2000.

ción ocupada en actividades relacionadas a un solo sector (40% en manufactura, 22% en turismo, 14% en pesca, y el 5% en minería); el 19% restante se consideran como cuencas con actividades mixtas. La actividad mixta predominante es manufactura-turismo, y representó el 11% de las cuencas del país (Cuadro 2).

Durante el año 2004 el sector laboral se vincula de manera importante con los procesos de la dinámica de crecimiento de las actividades manufactureras y turísticas.¹ Los subsectores de la manufactura que concentran la mitad de la fuerza de trabajo son los alimentos, bebidas y tabaco (20%), la actividad textil (18%) y la fabricación de equipo de transporte (12%).

Los impactos medioambientales de las dos principales actividades económicas, manufactura y turismo, generan grandes cantidades de residuos sólidos y un abundante caudal de

aguas residuales con elevadas concentraciones de materia orgánica y sólidos en suspensión, sobre todo en el caso de las actividades relacionadas con la producción de alimentos, bebidas y tabacos (para más información ver capítulo de *Contaminación puntual por industrias*).

Por otro lado, el turismo genera presiones sobre el medio ambiente mediante la ocupación del suelo, la fragmentación y destrucción del hábitat, el consumo de agua y energía, y la generación de residuos. Los impactos de la actividad turística redundan en una sobreexplotación de recursos, en la degradación de ecosistemas y del paisaje, así como en la *pérdida de bienestar por la concentración de población* en ciertos espacios geográficos, generando con ello una presión adicional sobre los recursos naturales.

Finalmente, la identificación de zonas de concentración de la población ocupada, per-

CUADRO 1. ORIENTACIÓN SECTORIAL DOMINANTE A NIVEL NACIONAL, 2004								
Cuenca	Estados	Municipios	Perfil Económico	Pes	Min	Man	Con	Tur
Río Mamantel	Campeche	2	Pesca-Minería	2%	12%	-	-	-
Grijalva-Usumacinta	Chiapas, Tabasco, Campeche, Oaxaca y Veracruz	115	Pesca-Minería	10%	13%	-	-	-
Río Aconeta	Sinaloa, Nayarit y Durango	4	Pesca	2%	-	-	-	-
Estero La Inicial	Sinaloa	1	Pesca	3%	-	-	-	-
Río Presidio	Sinaloa y Durango	3	Pesca	4%	-	-	-	-
Río Yaqui	Sonora y Chihuahua	32	Pesca	3%	-	-	-	-
Río La Sabana	Guerrero	1	Pesca	7%	-	-	-	-
Río Culiacan	Sinaloa, Durango y Chihuahua	6	Pesca	2%	-	-	-	-
Río Papaloapan	Puebla, Veracruz y Oaxaca	238	Pesca	5%	-	-	-	-
Península de Yucatán	Yucatán, Campeche, Quintana Roo	116	Pesca	6%	-	-	-	-
Río Pánuco	Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, México y Puebla	163	Pesca	4%	-	-	-	-
Río Balsas	Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, México, DF, Michoacán y Jalisco	393	Pesca	3%	-	-	-	-
Río Bravo	Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y Durango	122	Minería-Manufactura-Construcción-Turismo	-	15%	22%	15%	12%
Cuenca de México	Hidalgo, México, DF, Tlaxcala y Puebla	83	Minería-Manufactura-Construcción-Turismo	-	10%	19%	19%	26%
Lerma-Chapala	México, Michoacán, Guanajuato, Querétaro y Jalisco	129	Manufactura-Construcción-Turismo	-	-	10%	8%	9%
Río Santiago	Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Durango y Nayarit	90	Construcción-Turismo	-	-	-	12%	8%

Fuente: Elaboración propia a partir de los Censos Económicos, 2004. Pes = Pesca; Min = Minería; Man = Manufactura; Con = Construcción; Tur = Turismo

mite conocer los sectores dominantes de la dinámica económica, tanto a nivel nacional, como al interior de la cuenca, lo cual es fundamental para cuantificar las presiones sobre los recursos a un nivel focalizado, y entender con ello las externalidades generadas por el comportamiento poblacional aunado a la actividad económica.

¹ El sector manufacturero y turismo crecieron a una tasa promedio anual de 0.82% y 0.87%, respectivamente, durante el período 1993-2003. El sector con mayor crecimiento en el periodo mencionado fue el de la construcción, con una tasa promedio anual de 0.95%.

CUADRO 2. PERFIL ECONÓMICO DE LA CUENCA, 2004.

PERFIL	CUENCAS	%
Manufactura	62	40
Turismo	34	22
Pesca	22	14
Minería	7	5
Manufactura-Turismo	17	11
Pesca-Manufactura-Turismo	4	3
Pesca-Manufactura	4	3
Pesca-Turismo	1	1
Pesca-Minería	1	1
Minería-Turismo	1	1
Manufactura-Construcción-Turismo	1	1

Fuente: Elaboración propia a partir de los Censos Económicos, 2004.



PRODUCTIVIDAD SECTORIAL POR VACB (2004)



PRODUCTIVIDAD SECTORIAL

FELIPE FLORES VICHI Y VERÓNICA BUNGE

EL AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD es el elemento clave del crecimiento económico a largo plazo (Weil, 2006) y es un indicador que permite conocer la eficiencia del desarrollo de las actividades económicas. Esta eficiencia depende del nivel de tecnología pero también de otros factores como la especialización del trabajo y los factores productivos, así como de la existencia de mercados, vías de comunicación y la disponibilidad de determinados recursos naturales, entre otros.

El análisis que se presenta a continuación parte de la premisa de que los lugares con alta productividad son o serán polos de crecimiento económico atrayentes de población. El uso de recursos naturales en estos polos no sólo estará en función de la actividad económica sino también del consumo que realice la población atraída a esa región. En principio, a mayor productividad, mayores posibilidades de crecimiento económico.

El objetivo del mapa de este apartado es mostrar los niveles más altos de productividad que alcanzan las cuencas del país, independientemente del sector económico del cual

se trate. El hecho de no distinguir entre sector económico obedece a que, a este nivel, es difícil determinar cuál de ellos genera un mayor impacto sobre el ambiente.

El valor de la productividad relaciona la cantidad de producción obtenida con la cantidad de insumo utilizado. Son muchas las variables que se pueden emplear para calcularla; en este caso, la productividad es resultado del cociente de la Producción Bruta Total (PBT)¹ y el número de población ocupada por cada uno de los sectores. Cada municipio se caracterizó con el valor de mayor productividad, no con el promedio de la productividad de sus sectores. Esto con la finalidad de resaltar los sitios que pueden ejercer una presión importante sobre los recursos naturales de la región. A nivel de cuenca hidrográfica se promediaron los valores de productividad de cada uno de los municipios que conforman dicha cuenca. Sobrepuesto a cada cuenca se pueden observar aquéllos municipios que presentan uno o más sectores con una productividad alta tanto en términos de la PBT como del Valor Agregado Censal Bruto (VACB).³ La productividad calculada mediante

la PBT expresa de manera aproximada el nivel de desarrollo productivo, dado que involucra el total de insumos nacionales e importados utilizados durante el proceso de producción, además de las remuneraciones, los impuestos y el excedente de operación. En cambio, la productividad calculada con el VACB indica la eficiencia de los trabajadores, al reflejar la contribución de cada uno de éstos a la pro-

ducción. Corresponde únicamente a la parte de las remuneraciones, impuestos y utilidades; no contabiliza el consumo intermedio³, es decir, el VACB corresponde a la creación de riqueza de un sector económico.

Para caracterizar la productividad por municipio y por cuenca se utilizó la estructura sectorial del SCIAN⁴ (2002) pero contemplando únicamente aquéllos sectores cuyos

CUADRO 1. DISTRIBUCIÓN DE LOS MUNICIPIOS CON ALTA PRODUCTIVIDAD A NIVEL SECTORIAL

Cuenca	Total de Municipios	Municipios con productividad alta en PBT y VACB					
		Totales*	Pesca	Minería	Construcción	Manufactura	Turismo
Lerma-Chapala	129	13	0	0	11	1	1
Río Balsas	393	15	4	0	5	5	3
Río Bravo	122	18	2	1	9	2	5
Río Pánuco	163	13	3	1	5	4	0
Cuenca de México	83	14	0	0	12	0	2
Grijalva-Usumacinta	115	10	4	4	2	3	0

Fuente: Elaboración propia con datos del *Censo Económico 2004*. INEGI.

*La suma de los municipios por sector puede no coincidir con la totalidad de municipios de alta productividad de una cuenca. Esto se debe a que existen municipios que presentan más de un sector con alta productividad.

CUADRO 2. PRODUCTIVIDAD SECTORIAL CARACTERÍSTICA DE LOS MUNICIPIOS, 2004

	Pesca (%)	Minería (%)	Construcción (%)	Manufactura (%)	Turismo (%)
ALTA	16	4	18	11	2
MEDIA-ALTA	35	23	40	20	10
MEDIA	33	38	29	47	34
MEDIA-BAJA	12	23	12	17	40
BAJA	4	12	1	5	14

Fuente: Elaboración propia con datos del *Censo Económico 2004*. INEGI.

procesos productivos pudieran tener un mayor efecto sobre el ambiente, a saber, el sector manufacturero, minero, pesquero, turístico y de la construcción.

ANÁLISIS DEL INDICADOR A NIVEL NACIONAL

Debido a que la caracterización municipal se realizó seleccionando la mayor productividad, el territorio se representa con una productividad alta y media-alta en el 78% de las cuencas del país (ver Mapa). Esto significa que en la

mayoría de éstas existen municipios que presentan por lo menos una actividad muy productiva que ejerce o ejercerá una fuerte presión sobre los recursos naturales. Sin embargo, el análisis puede volverse más fino si consideramos únicamente a las cuencas que presentan una alta productividad, medida tanto en función de la PBT como del VACB; de esta manera sobresalen el 34% de las cuencas del país. De éstas, el 65% tiene sólo un municipio con estas características. En cambio, las cuencas de Lerma Chapala, río Balsas, río Bravo, río Pánuco, cuenca de México y Grijalva-Usuma-cinta tienen de 10 a 18 municipios con alta productividad (Cuadro 1).

A nivel sectorial, el análisis de productividad permitió observar que tanto en términos

de PBT solo, como de PBT y VACB, los sectores que aparecen con alta productividad en un mayor número de municipios y cuencas son los relacionados con construcción y pesca (Cuadro 2). El turismo y la manufactura son poco productivos en la mayoría de las cuencas y en los municipios en que están presentes.

Esto podría deberse a que son sectores que para su desarrollo dependen de manera más importante de un equilibrio entre condiciones naturales, técnicas y de mercado.

Los sitios con baja productividad no quedaron reflejados en este análisis porque son lugares con menores posibilidades de atraer población o de continuar con la actividad reportada. Sin embargo, ello no los exime de estar causando un deterioro ambiental.

Mientras que en los lugares con alta productividad se deberán impulsar políticas regulatorias, tanto a nivel industrial como público-urbanas, en los sitios con baja productividad habría que enfocar políticas orientadas a pro-

mover la eficiencia de los procesos de producción en concordancia, claro está, con el uso sustentable de los recursos naturales.

¹ Representa la suma total del valor de los bienes y servicios producidos por una sociedad, independientemente de que se trate de insumos —es decir, bienes intermedios que se utilizan en el proceso productivo— o de artículos que se destinan al usuario final.

² Se refiere al valor de la producción que se añade durante el proceso de trabajo, por la actividad creadora y de transformación del personal ocupado, el capital y la organización (factores de la producción), ejercida sobre los materiales que se consumen en la realización de la actividad económica. Aritméticamente, el VACB resulta de restar a la producción bruta total el consumo intermedio; se le llama bruto, porque no se le ha deducido el consumo de capital fijo.

³ Contabiliza los bienes y servicios que se consumen totalmente en el proceso de producción, para generar otros bienes o servicios.

⁴ Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte.



FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

FOTO: ALVARO FIGUEROA



tres

DIAGNÓSTICO SOCIO-AMBIENTAL

LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS constituyen un sistema complejo, abierto y dinámico, donde las interacciones entre las actividades antrópicas y las características inherentes del territorio dan origen a impactos y externalidades, puntuales y difusos, que afectan la calidad de los ecosistemas en detrimento de los bienes y servicios ambientales, la salud humana y los patrones del clima. Estas alteraciones muchas veces causan conflictos socio-ambientales y como respuesta también dan origen a instrumentos de política pública.



LA PRESIÓN HÍDRICA EN LAS CUENCAS DE MÉXICO

VERÓNICA BUNGE

LA PRESIÓN HÍDRICA de una región se calcula a partir del porcentaje de agua extraída con respecto a la disponibilidad natural media total. No sólo el incremento poblacional ha originado que más personas hagan uso del limitado recurso sino que los patrones de consumo predominantes en los países desarrollados y en vías de desarrollo han generado una mayor demanda de agua per cápita: mientras que el consumo global de agua dulce se ha multiplicado por seis entre 1900 y 1995, la población sólo lo ha hecho por tres (PNUMA, 2002).

Las nuevas tecnologías han permitido llevar a cabo actividades donde antes las limitaciones biofísicas impedían su realización, por ejemplo, ahora se construyen grandes ciudades en lugares con poca agua como Las Vegas, Estados Unidos, y Dubai, en los Emiratos Árabes Unidos, o se instalan vergeles en zonas áridas como Israel y la península de Baja California. En México, el auge que tuvo la construcción de infraestructura destinada a la irrigación en la década de los sesenta del siglo xx contribuyó al incremento en la demanda de agua per cápita.

La falta de saneamiento es también un aspecto crucial que disminuye la disponibilidad de agua de buena calidad. Haciendo referencia al capítulo de saneamiento de este mismo documento, a nivel nacional apenas el 30% de las aguas residuales son tratadas y la mayoría de ellas, tratadas o no, se descargan en cuerpos de agua naturales que posteriormente consume la población más pobre.

Además de poner en peligro la salud de las poblaciones y la continuidad de algunas actividades económicas, la sobreexplotación y contaminación del agua tienen implicaciones en la sostenibilidad del medio ambiente natural y en consecuencia, limita los servicios ambientales que éstos ofrecen. En algunos lugares del territorio mexicano se ha descuidado el caudal ecológico mínimo para sostener un ambiente natural. La construcción de presas ha alterado de manera importante al 31% de los ríos del país (Garrido *et al.*, 2010) y principalmente la agricultura ha contribuido a la sobreexplotación del 15% de los acuíferos (CONAGUA, 2008).

No menos importante en la disminución de la disponibilidad natural de agua es y, será

más aún, el cambio climático. En la *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático* (2009) se señaló que, para los próximos años, se espera un aumento en la temperatura y un descenso en la precipitación, lo cual provocará que en general todas las regiones estén un poco más secas de lo que están actualmente. “Las evaluaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) indican que México puede experimentar una disminución significativa en el escurrimiento, del orden del 10 al 20% a nivel nacional, y mayor al 40% en los humedales costeros del Golfo”.¹

Tomando en cuenta el caudal ecológico necesario para mantener la funcionalidad de los ecosistemas, el Consejo Mundial del Agua (World Water Council), determinó, a partir del modelo global de utilización y disponibilidad de agua WATER GAP-2, que un territorio está sometido a fuerte presión hídrica cuando se explota más del 40% del agua naturalmente disponible.

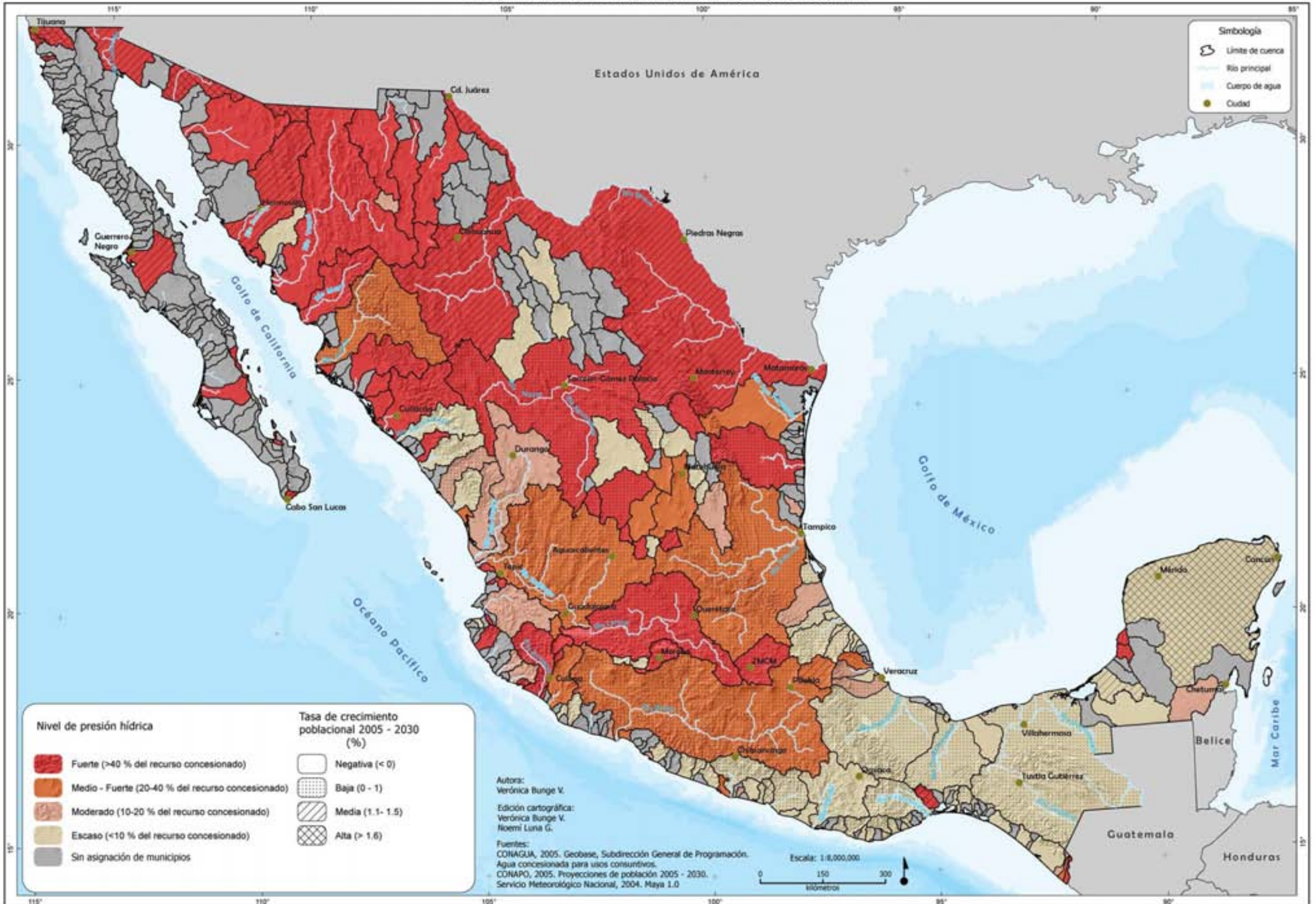
La idea de mantener intacto un determinado volumen de agua para asegurar la continuidad funcional de los ecosistemas naturales se viene discutiendo desde hace por lo menos 30

años. En Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea, Chile y Brasil, entre otros, existe una ley que hace referencia al caudal ecológico, y que consiste en considerar en los planes de desarrollo la cantidad de agua requerida por los ecosistemas naturales para mantenerse como fuentes sostenibles de ese recurso (Jamett y Rodrigues, 2005). Sin embargo, diversos autores han criticado la efectividad de este instrumento por resultar en un esfuerzo que sólo conserva un caudal mínimo que en general, no toma en cuenta los periodos de crecidas y bajadas del caudal natural y que es insuficiente para permitir la sostenibilidad del funcionamiento de los ecosistemas (Richter *et al.*, 1997; Poff y Allan, 1997; Verweij, 2000). En México, una norma equivalente se encuen-

CATEGORÍAS DE LA PRESIÓN HÍDRICA	
Presión Hídrica	Explotación del Recurso (%)
Escasa	< 10%
Moderada	Entre 10% y 20%
Media-Fuerte	Entre 20% y 40%
Fuerte	> 40%

Fuente: CONAGUA, 2008.

PRESIÓN HÍDRICA Y CRECIMIENTO POBLACIONAL



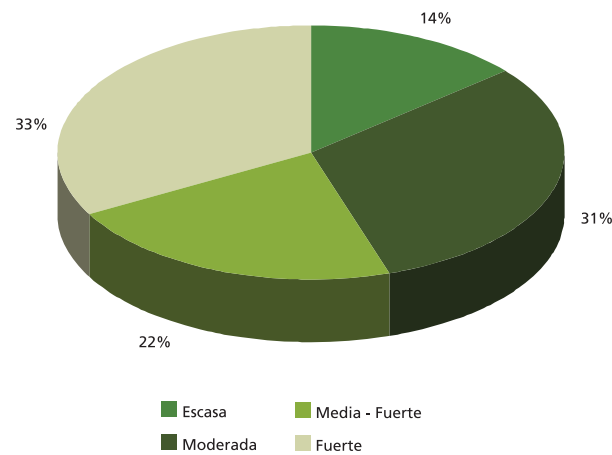


Figura 1. Porcentaje de cuencas del país según nivel de presión hídrica.

tra trabajando desde 2007 y se tiene la esperanza que quede concluida en el año 2010.

Tomando en cuenta las categorías de presión hídrica, publicadas por el Consejo Mundial del Agua, y debido a que los asentamientos humanos y la actividad agrícola son quienes más agua consumen, a continuación se analizarán dos mapas: uno en el que se relaciona esta presión con la tasa de crecimiento poblacional y otro en el que se reflejan las cuencas que más agua consumen por hectárea irrigada.

PRESIÓN HÍDRICA Y CRECIMIENTO POBLACIONAL

El mapa adjunto que muestra la presión hídrica y el crecimiento poblacional se construyó a partir de los datos obtenidos de disponibilidad natural de agua, de la información que proporciona CONAGUA acerca de los volúmenes concesionados para uso agrícola, público-urbano e industrial, y de las proyecciones poblacionales 2005-2030 hechas por CONAPO. Es necesario reconocer que los datos relacionados con el recurso agua son poco exactos dada la dificultad que representa la valoración de la disponibilidad natural media de agua y la imposibilidad de controlar los volúmenes reales de extracción de este recurso. Con todo,

una estimación aproximada, siguiendo el principio precautorio, es siempre útil para poder planear el desarrollo de los territorios.

A nivel nacional, es posible observar que 33% de las cuencas presentan una fuerte presión hídrica y en términos de población, el 53% de la gente vive en cuencas con esta característica (Figura 1).

En general, las mismas cuencas que tienen una disponibilidad natural baja de agua son las que están sometidas a mayor presión hídrica. Éstas se ubican en el norte y centro de la República, pero las cuencas del norte, a diferencia de las del centro, tienen una tasa de crecimiento poblacional alta, lo cual lleva a pensar que esta presión empeorará con los años. En estas mismas cuencas existe un mejor nivel de bienestar² y un mayor

LA CUENCA DEL RÍO COATZACOALCOS es una de las cuencas del país con mayor disponibilidad natural de agua per cápita y por kilómetro cuadrado ($> 10,000 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$ y $1,633,000 \text{ m}^3/\text{km}^2$). El volumen de agua concesionado es menor al 1% de la disponibilidad natural por lo que, en principio, no existe presión hídrica. No obstante, el déficit en el tratamiento de aguas residuales se eleva a 85% y por ello las fuentes de agua superficiales se encuentran contaminadas; la población, agrupada en unos pocos asentamientos, ha tenido que acudir a la extracción de agua subterránea y, según el Consejo de Cuenca correspondiente, algunos acuíferos ya se encuentran sobreexplotados y se ha provocado un abastecimiento escaso e irregular del recurso.

nivel de urbanización; ello podría, en principio, permitir que la cuenca impulse eficaces campañas de ahorro del agua y que adopte tecnología capaz de evitar la contaminación de este recurso, además de hacer un uso eficiente del mismo.

Las cuencas con menor presión hídrica se ubican al sur y sureste de la República. En estas regiones la tasa de crecimiento poblacional es superior a la tasa promedio nacional, es decir, mayor a 1.2% (CONAPO, 2005), por lo que resulta impostergable una planeación de su desarrollo en función de la disponibilidad de recursos.

Sin embargo, las cuencas con presión hídrica aparentemente menor pueden en realidad estar sufriendo escasez por tener contaminadas la mayor parte de sus fuentes de agua. Es el caso

de las cuencas del istmo de Tehuantepec, donde más del 90% de la disponibilidad natural del agua se encuentra en fuentes superficiales; la falta de saneamiento en las ciudades y comunidades ha provocado la contaminación de los cuerpos de agua superficiales, disminuyendo con ello la disponibilidad natural real de agua en la cuenca y provocando la sobreexplotación de los acuíferos. Por ello, la presión hídrica de una cuenca debe leerse integrando no sólo indicadores de disponibilidad natural y volumen extraído o concesionado, sino también indicadores relacionados con saneamiento, calidad del agua e incluso orografía, a manera de poder suponer si la contaminación de un cuerpo de agua o el aislamiento de un asentamiento son aspectos que están disminuyendo la disponibilidad real de agua.

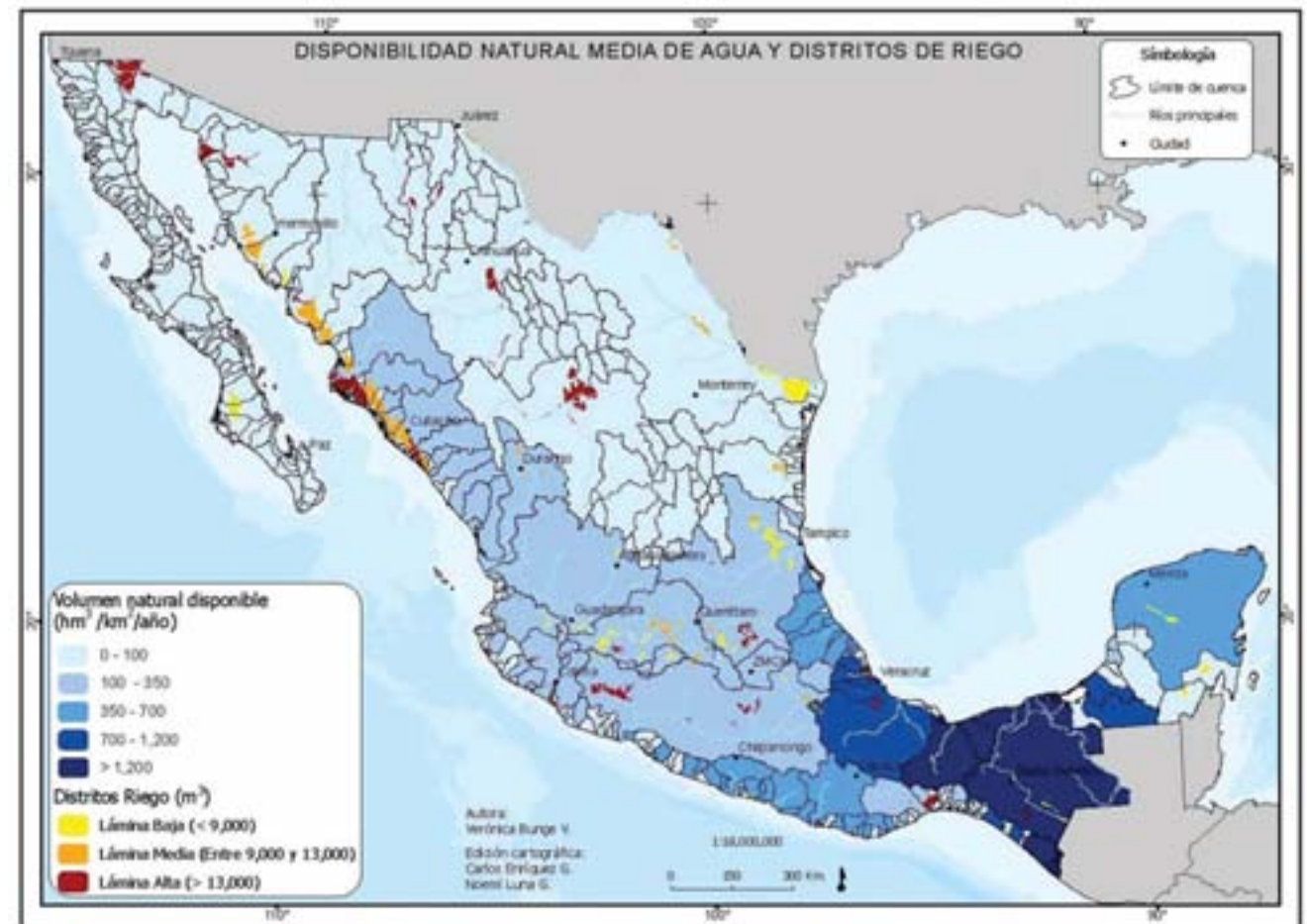


Figura 2. Distritos de riego y disponibilidad natural media de agua.

EL AGUA CONCESIONADA PARA RIEGO AGRÍCOLA

El indicador sobre volumen de agua concesionada para la agricultura por superficie sembrada (ver Mapa en DVD adjunto) se obtuvo al dividir el volumen de agua concesionada para uso agrícola en el año 2007 (CONAGUA, 2007) entre la superficie sembrada con riego por municipio para el mismo año (SIAP, 2007). Expertos de la Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola de CONAGUA consideran que una concesión de agua es alta cuando el volumen adjudicado es mayor a 13,000 m³ por hectárea.³ En general, cultivos con elevados requerimientos de agua, como las hortalizas, tendrán una alta concesión de agua.

El 77% del agua concesionada para usos consuntivos se destina al riego de cultivos y 80% de las cuencas del país guardan este patrón de uso del recurso. Lamentablemente, la eficiencia de este uso es muy baja: 64% de las unidades de producción tienen canales de riego de tierra (INEGI, 2007) y en ellos se pierde entre el 40% y 50% del agua por evaporación (CONAGUA, s/f, p. 11).

Las cuencas que gozan de un elevado volumen de agua por hectárea cultivada se encuentran distribuidas en todo el país sin presentar un patrón de localización específico. En las cuencas del norte, donde la disponibilidad natural de agua es más baja, se observan distritos de riego con una lámina alta, es decir, con cultivos con fuertes requerimientos hídricos (Figura 2).

Por ley, el uso público-urbano de agua tiene prioridad sobre los otros usos que se hacen de este recurso. En algunas cuencas, el crecimiento poblacional de los próximos 20 años demandará un mayor volumen de agua, generándose sobre todo una competencia con la actividad agrícola. Una forma de enfrentar esta competencia sería incrementando la reutilización del agua. Debido a la baja cali-

dad de las aguas tratadas, su reutilización —incluso para la agricultura— es muy baja: apenas el 20% del total de aguas tratadas, —que generalmente no cumplen con la norma oficial mexicana de calidad de agua, NOM 001_SEMARNAT— se vuelve a usar con fines agrícolas o para el riego de áreas verdes urbanas (CONAGUA, 2007).

En conclusión, actualmente la tercera parte de las cuencas del país están sometidas a fuerte presión hídrica; en muchos casos esto se debe a la regularización de títulos de concesión que estuvieron desligados de la noción de disponibilidad natural del agua. En otros casos, la presión hídrica es producto de la contaminación del agua de las fuentes superficiales que obliga a sobreexplotar los reservorios de agua del subsuelo.

Por otro lado, la actividad que más agua consume es la agrícola. En regiones con baja disponibilidad natural y alto crecimiento poblacional, las estrategias de adaptación de la presión hídrica debieran encaminarse a reconvertir el cultivo de las especies que requieren de mucha agua, a modernizar los sistemas de riego y a mejorar el tratamiento de aguas residuales urbanas con el fin de reusarlas en la agricultura.

Si no se toman medidas adecuadas y oportunas, el crecimiento de las cuencas del país podría darse a costa de la sostenibilidad de los ecosistemas naturales y en consecuencia, de la viabilidad de las mismas actividades humanas. A la planeación del territorio le corresponde adoptar una visión integral del sistema socioambiental y las tomas de decisiones deben sustentarse en indicadores capaces de dar cuenta del nivel y tipo de desarrollo que puede sostener un territorio.

¹ Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, 2009.

² Índice construido por el INEGI a partir de variables de ingreso, educación, vivienda, salud y empleo.

³ Comunicación personal.

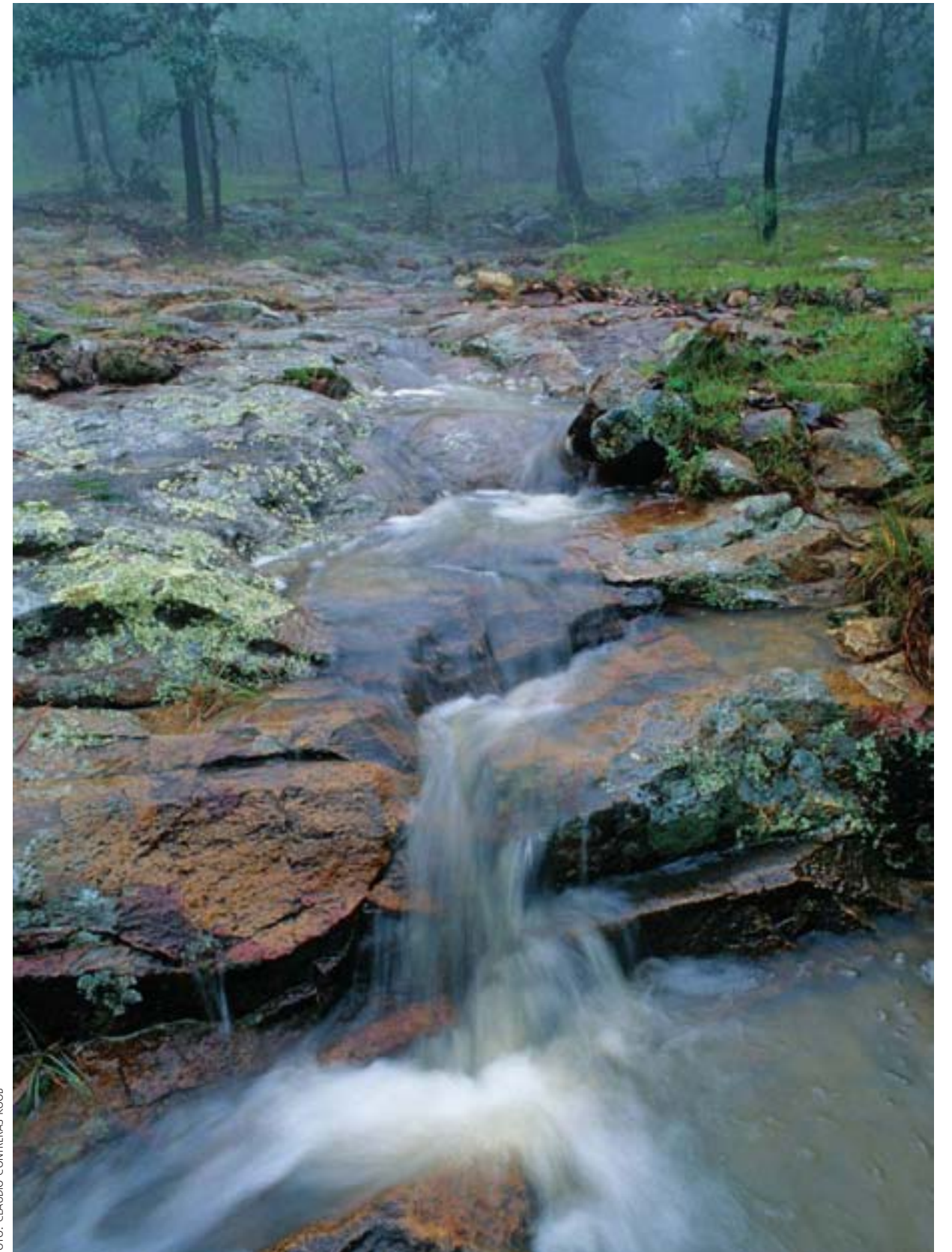


FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

EL ESTADO DE SANEAMIENTO EN LAS CUENCAS DE MÉXICO

VERÓNICA BUNGE

INTRODUCCIÓN

EN MÉXICO, las descargas de aguas residuales se clasifican en municipales e industriales. Las aguas residuales municipales son las aguas captadas en los sistemas de alcantarillado municipal urbano y rural, mientras que las aguas residuales industriales son aquéllas generadas por la industria, y que deben ser tratadas por estas mismas. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), instancia gubernamental encargada de la gestión del agua en el país, reporta que en el año 2008, se trataban alrededor del 35% de las aguas residuales municipales y el 18% de las aguas residuales industriales (CONAGUA, 2010). Como referencia, en América Latina se tratan, en promedio, el 10% de las aguas residuales colectadas (Reynolds, 2002) mientras que en el continente europeo el caudal tratado varía entre 20 y 98% (Eureau, 2008). Los países del sureste europeo, como Turquía, Bulgaria y Rumania, tratan alrededor del 40% de sus aguas residuales mientras que los de occidente, como Alemania, Holanda e Inglaterra, tratan más del 90% de sus aguas servidas (European Environment Agency, 2009).

El indicador que se analiza a continuación considera únicamente las aguas residuales de

origen público-urbano, es decir, las municipales. Al respecto es necesario mencionar que CONAGUA provee información acerca del “caudal tratado”, pero no así de la cantidad de aguas residuales generadas. Para fines de este ejercicio, esto último se calculó tomando como aproximado que el 75% de las aguas concesionadas para uso público-urbano se convierten en aguas residuales.¹ El porcentaje tratado por cuenca es resultado del cociente entre el volumen tratado y el volumen de aguas residuales generadas por municipio.

ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA NACIONAL

Una gran proporción de las aguas residuales no tratadas se vierten directamente en cuerpos de agua provocando su contaminación. Este impacto es tanto más importante si dichas descargas se hacen en las zonas altas de la cuenca porque los ríos y arroyos acarrearán agua con contaminantes a lo largo de todo su recorrido.

Gran cantidad del agua que consumen las poblaciones del país proviene de escurrimientos superficiales y el hecho de que éstos se encuentren contaminados genera graves problemas de salud. En México, las infecciones intestinales —además de las respiratorias—

son la principal causa de muerte en niños menores de cinco años (ver capítulo de enfermedades gastrointestinales). Se estima que el controlar el saneamiento de un territorio podría reducir en 32% la frecuencia de enfermedades diarreicas (CONAGUA, 2008).

El análisis de la base de datos de CONAGUA sobre plantas de tratamiento de aguas residuales a diciembre de 2007 indica que, con las 1,710 plantas en operación del país, se trataron el 28% de las aguas residuales generadas. La diferencia encontrada en el porcentaje de agua residual tratada entre nuestro análisis y el reporte que hace CONAGUA obedece a que esta última calcula su déficit de tratamiento en función del agua que recibe en las plantas de tratamiento (según INEGI, 2005, el 67.6% de la población está conectada a una red de drenaje); por el contrario, nosotros lo hacemos en función del volumen de aguas residuales generadas, independientemente de si éstas llegan a una planta de tratamiento.

A nivel de cuenca sólo la quinta parte de éstas trata más del 50% de las aguas residuales que genera. Cabe señalar que las cuencas que aparecen sin déficit de tratamiento de aguas residuales pueden ser resultado de un error en la información oficial reportada, más

que de una verdadera eficiencia en el volumen del caudal tratado.

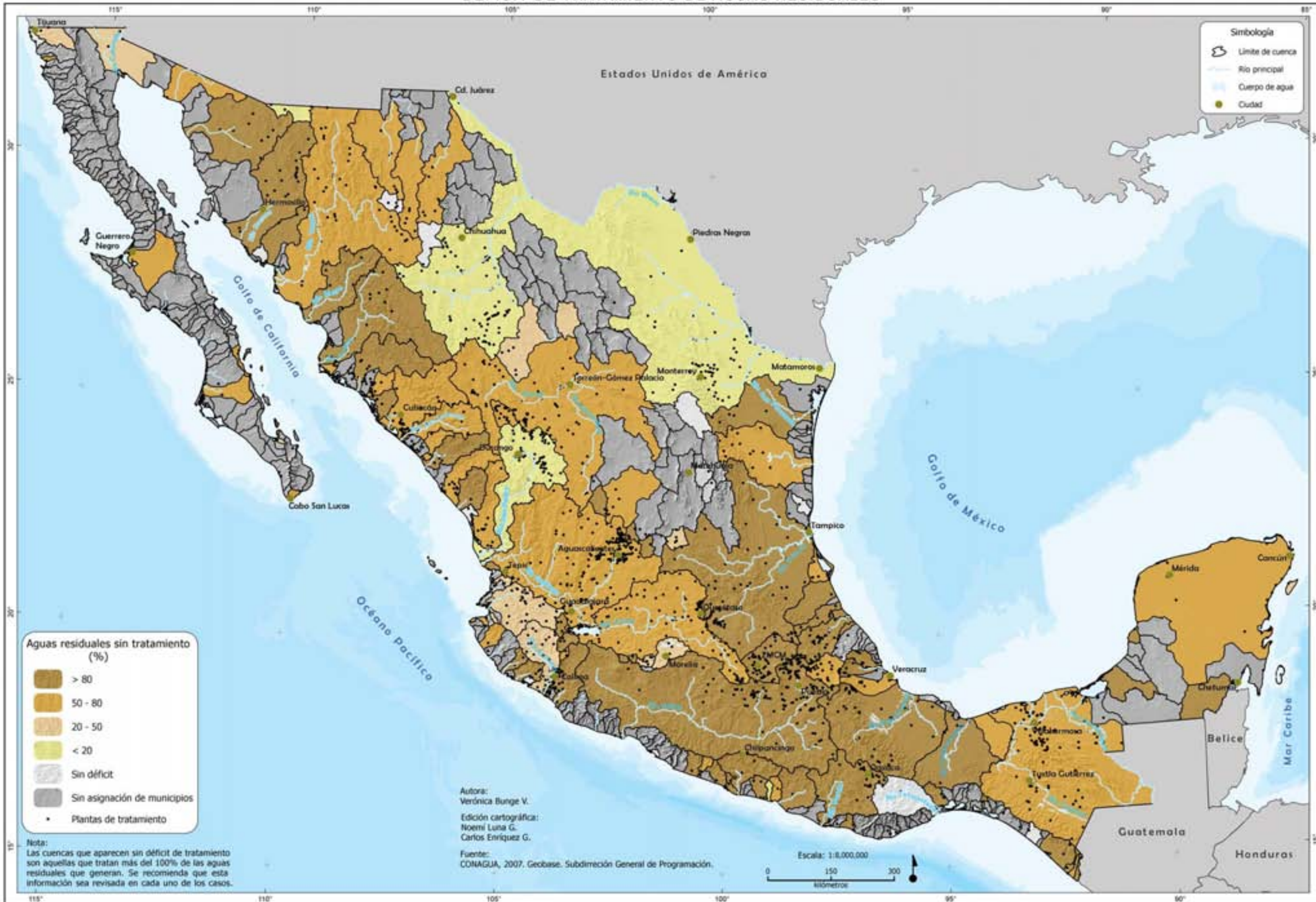
Con la misma base de datos se determinó que el proceso de tratamiento más común en México se lleva a cabo en lagunas de estabilización (38%), seguido por las plantas de lodos activados (24%). Sin embargo, en términos del caudal tratado, un poco más del 40% se procesa con lodos activados mientras que el 18% se trata en lagunas de estabilización (Cuadro 1).

CUADRO 1. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tipo de proceso	Nº de plantas en operación	Caudal tratado	% caudal tratado
Lodos Activados	417	35.14	44%
Lagunas de estabilización	645	14.24	18%
Primario avanzado	14	8.68	11%
Lagunas aireadas	26	6.08	8%
Filtros biológicos	74	3.56	4%
Primario	13	2.07	3%
Zanjas de oxidación	20	2.18	3%
Otros	501	7.35	9%
Total	1710	79.3	100%

Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos de CONAGUA sobre plantas de tratamiento de aguas residuales a diciembre de 2007.

DÉFICIT DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES





PROCEDIMIENTO DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO: LODOS ACTIVADOS Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

El proceso que involucra a los lodos activados es un tratamiento biológico en el cual se agita y ventila una mezcla de agua residual y un lodo de microorganismos. El lodo con microorganismos, conocido como lodo activado, absorbe los sólidos en suspensión y los coloides. Según se absorbe la materia orgánica, tiene lugar la oxidación biológica que permite una reducción de entre 80 y 95% en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y en los sólidos en suspensión. La reducción de las bacterias coliformes, mediante este proceso, alcanza entre un 90 y un 95%, sin embargo, antes de ser vertidas deben recibir un tratamiento que elimine a los microorganismos patógenos que no son bacterias (Tchobanoglous 1996; Méndez *et al.*, 2004). Por su parte, las lagunas de estabilización consisten en excavaciones poco profundas donde el agua residual se almacena y de manera natural, es decir, sin adición de insumos químicos o energía, las bacterias y algas degradan la materia orgánica y eliminan microorganismos patógenos. La eficiencia de la depuración del agua residual en lagunas de estabilización depende principalmente de las condiciones climáticas de la zona: temperatura, radiación solar, y frecuencia y fuerza de los vientos locales. En condiciones óptimas, en estas lagunas se logra reducir entre un 70 y 90% de la DBO y aproximadamente el 99% de los patógenos (Metcalf & Eddy Inc., 1996; Vila *et al.*, 2009). Al igual que en el caso anterior, es necesario realizar un tratamiento que elimine a los microorganismos patógenos. A pesar de que ambos procesos son capaces de producir aguas sin sólidos, sin materia orgánica y sin patógenos, la mayoría de las plantas de tratamiento de este tipo en México realizan un procedimiento primario o secundario, en el que sólo se retiran físicamente los sólidos o intervienen microorganismos que degradan la materia orgánica, la cual se remueve por filtración. La falta de recursos tanto humanos como financieros para operar y dar mantenimiento a las plantas de tratamiento es la principal causa de la baja eficacia del tratamiento de agua en México (*comunicación personal* de operadores de cuatro distintas plantas de tratamiento; Moeller y Escalante, 2000).

Otro dato encontrado a partir del análisis de la mencionada base de datos de CONAGUA es que el 64% de las plantas de tratamiento del país vierten sus aguas tratadas en cuerpos de agua naturales, ya sea en ríos, arroyos, esteros, acuíferos o en el mar (Cuadro 2). Dado que la mayor parte del caudal tratado no remueve la totalidad de los patógenos y sólidos suspendidos, pocas veces se cumple con la NOM-001-SEMARNAT-1996² y los cuerpos de agua resultan severamente contaminados.

Si bien la Secretaría de Salud vincula la calidad del agua de los cuerpos naturales con la incidencia de enfermedades gastrointestinales, esta correlación no se confirmó al trabajar

a nivel municipal o de cuencas. Es probable que esto se deba a que los lugares que generan grandes volúmenes de agua residual y que mantienen un importante déficit de tratamiento de aguas sean también los sitios con mayor población conectada a una red de distribución de agua potable. El agua residual no tratada, al ser liberada en un cuerpo de agua, afecta a aquéllas comunidades más marginadas que no tienen acceso al agua entubada y que consumen agua proveniente directamente de los reservorios naturales o artificiales.

Por último, tampoco se encontró una correlación clara entre el nivel de saneamiento de una cuenca y su nivel económico (PIB), de

CUADRO 2. PLANTAS DE TRATAMIENTO Y CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES QUE SE VIERTEN A LOS DISTINTOS CUERPOS RECEPTORES

Cuerpo receptor	% Plantas que vierten	% Caudal vertido
Ríos y arroyos	33%	51%
Reutilización en riego	20%	16%
Suelo	10%	3%
Cuerpo artificial (presas, canales y drenes)	6%	8%
Mar	2%	6%
Reutilización en industria	1%	5%
Lagunas, esteros, marismas y pantanos	8%	3%
Acuífero	4%	2%
Lago	1%	2%
No especificado	14%	5%

Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos de CONAGUA sobre plantas de tratamiento de aguas residuales a diciembre de 2007.

desarrollo (IDH), grado de urbanización (Índice de Urbanización) o población (número absoluto y densidad). Esta falta de relación vuelve el asunto más complejo y queda pendiente averiguar las causas reales del déficit de tratamiento de aguas residuales.

En conclusión, el análisis recién mencionado resalta la falta de tratamiento de aguas residuales y permite vislumbrar algunas posibles causas de ello. Al inicio de este capítulo, se mencionó que los países más ricos sobresalen por su capacidad de tratar un mayor porcentaje de las aguas residuales generadas. Sin embargo, las correlaciones entre el nivel de saneamiento de las cuencas y el nivel económico o de desarrollo de las mismas no resultaron positivas. Es probable que la explicación se deba, más que a las capacidades económicas de los territorios, a la fortaleza de sus instituciones y a la planeación adecuada de las plantas de tratamiento. Algunas de ellas no están adaptadas a las condiciones climáticas y físicas del lugar al que prestan servicio. El reto entonces será explorar si verdaderamente el saneamiento deficiente tiene que ver con

cuestiones relacionadas a la estructura, vínculos y capacidades institucionales o a meros intereses de tipo político. Si esto último fuese el caso, habría que encontrar la manera de crear sinergias entre los intereses sectoriales que pudieran impulsar las obras de infraestructura requeridas y la supervisión oportuna de descargas de aguas residuales.

¹ CONAGUA estima, en algunos documentos, que aproximadamente el 70% de las aguas blancas concesionadas para uso público-urbano se tornan aguas residuales (*Estadísticas del agua en México*, 2008, CONAGUA: calculado a partir de datos de las páginas 54 y 86). Sin embargo, INEGI, basado en información proporcionada por CONAGUA, reporta una generación de aguas residuales equivalente al 80% de las aguas concesionadas para uso público-urbano (INEGI, 2008).

² La NOM 001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.



FOTO: HELENA COTLER

PROCESOS DE CAMBIO DE USO DE SUELO Y DEGRADACIÓN DE LA VEGETACIÓN NATURAL

MARÍA LUISA CUEVAS, ARTURO GARRIDO, JOSÉ LUIS PÉREZ DAMIÁN Y DANIEL IURA GONZÁLEZ

LAS ACTIVIDADES HUMANAS y la creciente demanda por bienes como alimento, vivienda, agua potable y servicios ambientales generan constantemente, y en amplias escalas geográficas, una presión sobre los recursos naturales con grandes impactos, la mayoría de ellos negativos, sobre la estructura, funcionamiento y distribución de los mismos (Challenger y Dirzo *et al.*, 2009; Vitousek *et al.*, 1997).

Si bien los procesos de cambio de uso del suelo y vegetación han sido constantes en nuestro país, éstos se incrementaron en velocidad y extensión principalmente a partir de la segunda mitad del siglo xx; Challenger y Dirzo *et al.* (2009) afirman que para 1976 la cobertura vegetal original del país se había reducido en un 38%; hacia 1993 sólo cubría el 54% y para el año 2002 ocupaba únicamente el 50% de su superficie original.

Las actividades que más consecuencias han tenido sobre la vegetación natural son la ganadería, la agricultura y el crecimiento de los asentamientos humanos y las zonas urbanas. Mientras que las dos primeras han tenido un impacto significativo desde antes de la década de los 70 del siglo xx, la última ha registrado

un incremento importante a partir de esa década (Sánchez Colón *et al.*, 2009), constituyéndose en la actualidad en el cambio de uso de suelo más importante de algunas regiones del país (SEMARNAT, 2008).

A nivel de cuenca, la vegetación cumple con un gran número de funciones que ayudan a mantener la estabilidad y correcto funcionamiento del intercambio de materia y energía cuenca arriba-cuenca abajo (Matthews *et al.*, 2000). La pérdida y degradación de la vegetación natural, así como la velocidad a la que están ocurriendo dichos cambios, desencadenan procesos negativos —a distintas escalas espaciales y temporales— muchas veces difíciles de revertir. Esto compromete los servicios ecosistémicos en las cuencas, como la estabilización del suelo, la regulación del volumen y periodicidad de los caudales y la purificación e infiltración del agua, por mencionar algunos (Matthews *et al.*, 2000, Revenga *et al.*, 1998).

Tomando como puntos de referencia la *Carta de uso del suelo y vegetación Serie I* (INEGI, 1976) y la *Carta de uso del suelo y vegetación Serie IV* (INEGI, 2009), se analizó, a nivel nacional y por cuenca, la pérdida de vegetación primaria y secundaria, la degra-

dación de la vegetación natural, los principales procesos generadores de dichos cambios, así como las tasas de pérdida y degradación para cada cuenca, como una medida que expresa el ritmo al que se han degradado sus ecosistemas.

Para realizar dicho análisis se agrupó la vegetación a partir de su condición de primaria y secundaria, con la finalidad de poder presentar una visión general de todas las cuencas. Para este análisis, se parte del enfoque que toda la vegetación natural (primaria y secundaria) cumple con importantes funciones que permiten mantener la estabilidad y dinámica de la cuenca. Sin embargo, y reconociendo las diferencias en diversidad y riqueza entre un tipo de vegetación y otro se presentan ejemplos de las formaciones vegetales que sufrieron más cambios. Esta clasificación se hizo siguiendo la agrupación presentada por SEMARNAT (2008).

PÉRDIDA DE VEGETACIÓN NATURAL

La extensión y distribución de la vegetación natural es una medida básica para conocer el estado ambiental de las cuencas y su capacidad para mantener funciones y servicios fundamen-

tales para toda la sociedad; su remoción total significa la alteración en los procesos de intercambio de materia y energía cuenca arriba-cuenca abajo. De ahí la importancia de estudiar, espacialmente, dónde y en qué medida las cuencas han sufrido una pérdida total de su vegetación natural (Matthews *et al.*, 2000).

De acuerdo con los resultados obtenidos, a partir de técnicas de análisis espacial en SIG, entre 1976 y 2009 la pérdida de vegetación primaria a nivel nacional ascendió a casi diez millones de hectáreas, mientras que en el mismo periodo la de vegetación secundaria fue de más de ocho millones. Dentro de estas cifras, los tipos de vegetación que presentaron la mayor disminución en su cobertura fueron las selvas, seguidas de los bosques y los matorrales.

Al analizar la diferencia en la extensión de la vegetación primaria entre los años 70 y el año 2009, encontramos que más del 80% de las cuencas (331) perdieron entre el 1 y el 20% de su vegetación primaria. A pesar de que la mayoría de estas cuencas perdieron, en promedio menos de 10,000 ha cada una, la pérdida acumulada suma 7,712,000 ha, lo que representa el 78% de toda la vegetación primaria eliminada durante el periodo estudiado

CAMBIO DE USO DEL SUELO Y DEGRADACIÓN DE LA VEGETACIÓN NATURAL (1976-2009)



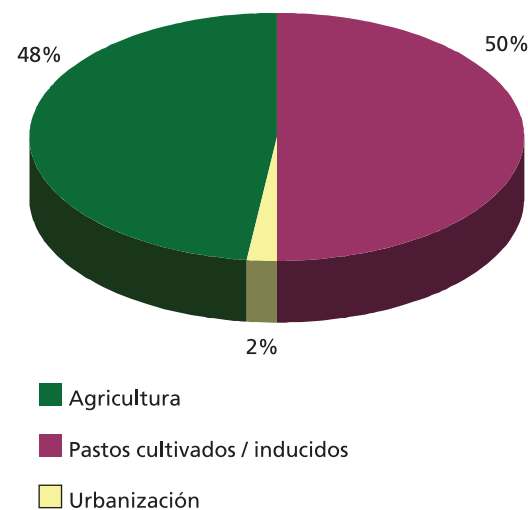


Figura 1. Porcentaje de pérdida de vegetación primaria por cuenca (1976-2009).



Figura 2. Porcentaje de pérdida de vegetación secundaria por cuenca (1976-2009).

Figura 3. Porcentaje de participación de los principales usos generadores de cambio, en la pérdida de vegetación natural entre 1976 y 2009.



(Figura 1). Las cuencas dentro de esta categoría ocupan el 89% del territorio nacional.

Otras doce cuencas perdieron más del 50% de su vegetación primaria, entre ellas destaca la cuenca del río Tonalá (Figura 1). Estas cuencas, que representan el 3% del total de cuencas y se localizan principalmente en el Golfo de México, presentan una pérdida de 266,904 ha, lo que equivale al 2.6% de la pérdida total nacional. El resto de las cuencas (50) se ubican en los rangos de pérdida entre 10 y 50%.

Por otro lado, la pérdida de vegetación secundaria no sigue un patrón tan definido como el de la vegetación primaria. En el caso de la vegetación secundaria, las cuencas que perdieron menos del 10%, localizadas en la península de Baja California y al norte del

país, suman 51,507 ha de pérdida (0.6% del total nacional). En contraste, son las cuencas que perdieron entre el 30 y el 50% de la vegetación las que acumulan la mayor superficie, 3,304,000 ha de vegetación secundaria removida. Las 79 cuencas que componen esta categoría, entre las que se incluyen río Pánuco, río Papaloapan y Grijalva-Usumacinta, representan el 20% del territorio nacional (Figura 2). De igual manera, la superficie removida en las cuencas que perdieron entre el 20 y el 30%, como es el caso de río Balsas, Cuitzeo, Lerma-Chapala o río Santiago, representa una suma importante, 2,356,200 ha que equivale al 30% de toda la vegetación secundaria que se perdió en el periodo estudiado. Las cuencas en esta categoría (59) representan el 25% del país (Figura 2).

Examinando los cambios en las coberturas tanto de vegetación primaria como secundaria, encontramos que han sido la expansión de los pastos cultivados e inducidos (los cuales están asociados principalmente a la ganadería), seguida por la agricultura y la urbanización, los procesos que mayor impacto tuvieron sobre los ecosistemas (Figura 3 y Mapa). Esto coincide con lo expresado en Sánchez Colón *et al.* (2009) donde se afirma, retomando un estudio de SAGARPA del año 2001, que el 57% del territorio del país está ocupado por ganadería extensiva, por lo que continúa siendo el uso dominante de la tierra en el país.

Sin embargo, de acuerdo con las fuentes de información utilizadas, la agricultura sigue siendo la actividad que más hectáreas incor-

poró, ya que no sólo transformó a la vegetación natural, si no que también ganó superficie a cuerpos de agua o zonas costeras; incluso incorporó superficie ocupada en otras actividades como la ganadería o plantaciones forestales (Figura 4 y Mapa).

Cuando se analiza la pérdida de vegetación primaria y secundaria en su conjunto, se observa que más del 70% de las cuencas perdieron menos de 10,000 ha. En el otro extremo, las cuencas que sufrieron destrucción de más de 400,000 ha son aquellas con mayores dimensiones, como río Bravo (1,892,079 ha), Grijalva-Usumacinta (1,676,088 ha) y Balsas (1,346,535 ha), lo cual muestra una relación entre el tamaño de la cuenca y la superficie de vegetación perdida. Este patrón se observa tanto en la vegetación primaria como en la secundaria (Figura 5).

La cuenca que sufrió mayor detrimento de su vegetación primaria fue río Bravo: 1,682,046 ha. Esta superficie representa una disminución del 9.5% de la vegetación primaria en dicha cuenca y el 17% de la superficie removida a nivel nacional. Otros casos que sobresalen son: la cuenca Grijalva-Usumacinta, que perdió 792,000 ha — lo que representa una merma del 20.3% de su cobertura primaria original y del 8% del total nacional— y la cuenca del río Balsas, donde se destruyó el 14% de la vegetación primaria (521,000 ha), equivalente al 5% de la pérdida total nacional. En términos de disminución de vegetación primaria, el total de hectáreas removidas en estas tres cuencas representa el 30% del total nacional. Como sucedió a nivel nacional, las dos causas principales de transformación fueron la expansión de áreas para pastoreo (inferida a partir de los pastos cultivados e inducidos) y la agricultura (ver Mapa).

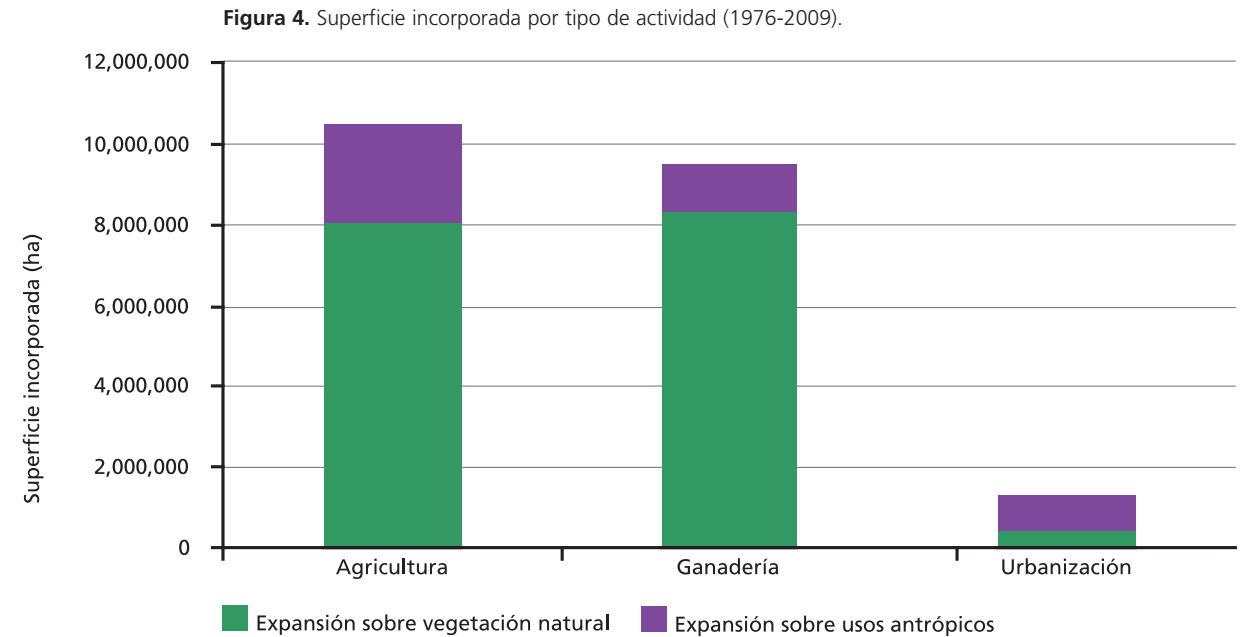
Si bien a nivel nacional la superficie removida en las tres cuencas arriba mencionadas es muy importante, resulta igual de importante señalar aquellas cuencas que perdieron casi la totalidad de su vegetación primaria en los

últimos 33 años (Cuadro 1). En la mayoría de los casos, esta transformación no sólo resulta significativa en cuanto al porcentaje de vegetación inicial que se perdió sino también, en relación al área de la cuenca. En once de las doce cuencas que se mencionan enseguida, la pérdida de vegetación primaria representa más del 20% del área total de la cuenca (Cuadro 1).

La vegetación más afectada corresponde a las selvas húmedas de las cuencas de Veracruz y Tamaulipas, además de los matorrales xerófilos de las cuencas localizadas en el estado de Tamaulipas. En ambos casos, el crecimiento agropecuario fue la principal causa que favoreció la pérdida de dicha vegetación.

En lo que respecta a la vegetación secundaria, la cuenca que perdió la mayor superficie fue Grijalva-Usumacinta (884,052 ha). Esta cifra representa una merma del 46% de la vegetación secundaria existente en la cuenca en el primer periodo, y el 11% de la superficie total perdida a nivel nacional. Le siguen, las cuencas de los ríos Pánuco (852,012 ha) y Balsas (825,228 ha). En la primera, la proporción que representa la superficie perdida con respecto a la vegetación secundaria existente en la década de los 70, es del 40% mientras que en la segunda, representa el 23%. Al igual que con la vegetación primaria, en tan sólo tres cuencas se concentra más del 30% de la pérdida de vegetación secundaria total nacional. En los dos primeros casos, la expansión de los pastos para ganadería fue el proceso que mayor superficie transformó, mientras que en río Balsas, la agricultura fue el cambio de uso de suelo más importante (ver Mapa).

Como se mencionó anteriormente, el total de hectáreas de vegetación secundaria que se perdieron a nivel nacional representa un dato importante, sin embargo, al interior de las cuencas la remoción de más del 50% de la cobertura, aunque fuera secundaria, representa un impacto directo sobre sus funciones y dinámica ambiental. Por ello, se considera relevante



CUADRO 1. CUENCAS CON MAYOR PORCENTAJE DE PÉRDIDA DE VEGETACIÓN PRIMARIA EN LOS ÚLTIMOS 33 AÑOS					
Cuenca	Área de la cuenca (km ²)	Pérdida de vegetación primaria (ha)	Pérdida de vegetación primaria (%)	Pérdida en relación al área de la cuenca (%)	Principal proceso de cambio ¹
Río San Vicente (Tamaulipas)	298.85	8,784	91.2	29.4	Ganadería ²
Estero Paso de La Harina (Tamaulipas)	237.98	6,030	79.1	25.3	Ganadería
Arroyo El Cuate (Tamaulipas)	366.99	9,648	67.7	26.3	Ganadería
Río Las Coloradas (Tamaulipas)	382.75	10,818	60.6	28.3	Ganadería
Arroyo Mata Hueyal (Oaxaca)	324.02	4,383	58.7	13.5	Ganadería
Río Nilttepec (Oaxaca)	537.71	10,278	57.9	19.1	Ganadería
Río El Caracol (Tamaulipas)	536.79	23,076	57.0	43.0	Ganadería
Río Tonalá (Veracruz)	5,718.98	168,912	55.8	29.5	Agricultura
Río Temoloapa (Veracruz)	251.69	1,620	55.6	6.4	Ganadería
Río Olapa (Veracruz)	424.87	14,157	54.9	33.3	Ganadería
Río Prieto (Veracruz)	592.25	8,532	52.8	14.4	Ganadería
Río Lavaderos (Tamaulipas)	224.90	666	50.3	3.0	Agricultura

¹ Se considera como principal causa de cambio al uso antrópico con un crecimiento equivalente al 20% o más de la superficie de la cuenca.

² La ganadería se calculó a partir de la expansión de los pastos cultivados e inducidos en cada cuenca.

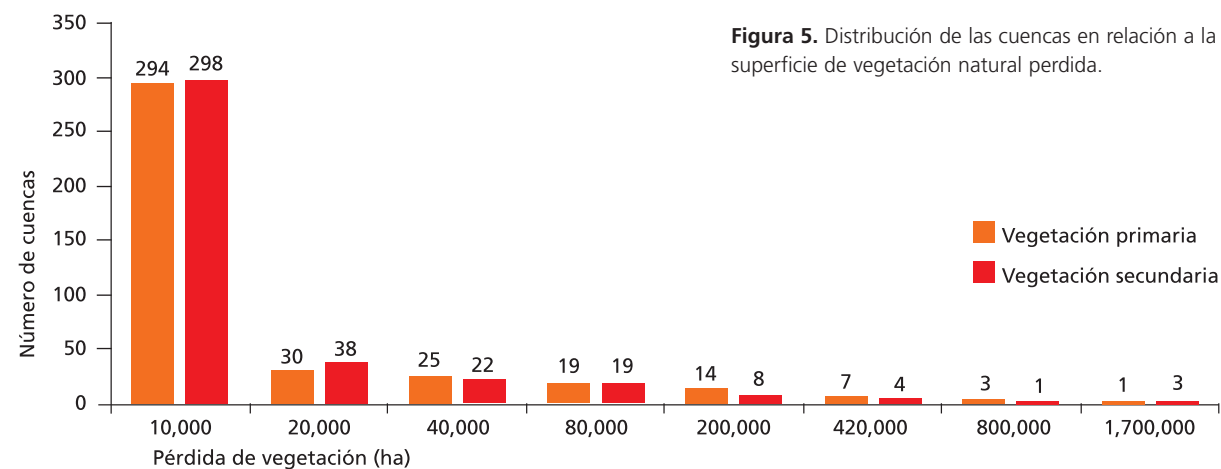


Figura 5. Distribución de las cuencas en relación a la superficie de vegetación natural perdida.

mencionar que entre las cuencas que han perdido más del 90% de su vegetación secundaria inicial destacan: estero Paso La Harina en Tamaulipas (100%), seguida de río Suchiate (95.7%) en Chiapas y río Prieto (95%) y La Palma (92%) en Veracruz (Figura 2). A excepción de la cuenca del río Suchiate, donde la principal alteración se debió a la pérdida de bosques, en las otras cuencas fueron las selvas el tipo de vegetación más afectado.

Haciendo un desglose por tipo de vegetación y superficie perdida en los últimos 33 años, encontramos que fue la deforestación de las selvas secundarias la que mayor superficie registró (5,746,422 ha), producto principalmente de la expansión ganadera (inferida por la presencia de pastizales inducidos y cultivados). Le sigue la pérdida de matorrales primarios (2,968,694 ha), la deforestación de selvas (1,960,528 ha) y bosques primarios (1,930,527 ha), la deforestación de bosques secundarios (975 mil ha) y la pérdida de matorrales secundarios (779 mil ha). Las actividades que primordialmente sustituyeron esta vegetación fueron la ganadería (pastizales) y la agricultura. En una proporción mucho menor, la tercera causa fue el crecimiento de los asentamientos humanos y de las zonas urbanas (Figura 4 y Mapa).

Estos resultados coinciden con lo documentado por Challenger y Dirzo, *et al.* (2009) y Challenger (2008) quienes mencionan que desde la década de los 40's las selvas húmedas y a partir de los 70 las selvas secas, han sido los ecosistemas más afectados por las actividades humanas. De acuerdo con estos autores, algunos de los factores decisivos en la pérdida de las selvas de nuestro país son el fomento a la ganadería, la producción petrolera y la construcción de presas. Con respecto a los bosques templados mencionan que son el aprovechamiento forestal no sustentable, los incendios forestales y el crecimiento urbano las principales causas de su pérdida y degradación.

DEGRADACIÓN Y RECUPERACIÓN DE LA VEGETACIÓN

El proceso de degradación de la vegetación se produce cuando se altera la cubierta vegetal original sin llegar a su total remoción, permaneciendo sólo ciertas especies o comunidades vegetales. Este proceso, si bien no tiene un impacto tan alto como la pérdida total, produce cambios que alteran la estructura de los ecosistemas y con ella los bienes y servicios que la vegetación, en particular, y la cuenca, en general, ofrecen.

A partir del estudio comparativo entre la información de los años 70 y el año 2009, usando técnicas de análisis espacial en SIG, se detectó que la cuenca cuya vegetación primaria sufrió mayor degradación fue la península de Yucatán; allí, cerca de un millón de hectáreas pasaron de un estado primario a secundario (ver Mapa). Lo anterior significa que el 52% de la vegetación primaria de esta cuenca fue transformada a secundaria en el periodo mencionado. De este total, las selvas húmedas fueron las más afectadas (~931,500 ha), seguidas de las selvas subhúmedas (~160,000 ha) y los manglares (~800 ha). Otras cuencas en donde la vegetación secundarizada rebasó el millón de hectáreas son: río Bravo (1,475,597 ha), río Balsas (1,347,633 ha), Grijalva-Usumacinta (1,168,218 ha) y río Santiago (1,100,835 ha) (ver Figura 5 y Mapa).

Existen otras cuencas en las que la vegetación primaria fue degradada casi en su totalidad, entre ellas se destacan, en el estado de Guerrero: la cuenca arroyo La Culebra (97%) y arroyo Pantla (91%), y en el estado de Michoacán la cuenca río Cacalula (91%). Con excepción de la cuenca arroyo La Culebra, donde se degradó selva subhúmeda, en las otras dos cuencas también hubo secundarización de bosques templados. En las tres cuencas la expansión de los pastos cultivados e inducidos representa el principal motor de cambio de la vegetación primaria (Mapa), lo que hace suponer que la introducción de ganado en zonas de vegetación primaria ha sido el factor desencadenante del proceso de degradación.

A nivel nacional, los bosques templados son el tipo de vegetación que mayor degradación presentó, más de seis millones de hectáreas (Figura 6), lo que representa el 31% de todos los bosques templados primarios reportados a nivel nacional en la década de los 70. A nivel de cuenca, río Balsas es donde se presenta la mayor superficie de bosques templados secundarizados; más de 700 mil hec-

táreas. Le siguen río Santiago (5,772 ha), Grijalva-Usumacinta (4,685 ha), río Verde en Oaxaca (4,475 ha) y río Fuerte en Sonora y Chihuahua (3,250 ha).

También hay un incremento importante de selvas húmedas y subhúmedas cuya superficie ha sido degradada; más de 2 millones de hectáreas cada una. En las primeras, esto representa la degradación del 38% de las selvas primarias existentes en los años 70 mientras que en las segundas, implica una transformación del 21.5% del total nacional (Figura 6).

La cuenca en donde se presentó la mayor superficie de selvas degradadas es península de Yucatán (9,315 ha de selvas húmedas y 1,601 ha de selvas subhúmedas). Con respecto a las selvas húmedas, le siguen Grijalva-Usumacinta (4,751 ha), río Hondo (3,365 ha) y lago Chac-Ha, entre Quintana Roo y Campeche (2,761 ha). Las cuencas que también reportaron un cambio importante de selvas subhúmedas primarias que pasaron a secundarias fueron río Balsas (4,214 ha), río Santiago (2346 ha), río Tehuantepec (1,592 ha) y Lerma-Chapala (1,194 ha).

A partir de los resultados obtenidos se puede afirmar que la superficie de selvas húmedas y subhúmedas que se pierde o se degrada supera por mucho su capacidad de regeneración. En el caso de las selvas húmedas la superficie nacional que pasó de ser considerada como secundaria a primaria representa, únicamente, el 10% (275, 841 ha) de todo lo que se pierde. En el caso de las selvas subhúmedas se recuperaron (o cambiaron a un estado primario) poco más de 500 mil ha a nivel nacional (Figura 6).

Por su parte, los bosques mesófilos de montaña, sufrieron en un 26% (307 mil ha a nivel nacional) algún tipo de deterioro (Figura 6). Parte de esta superficie fue modificada en las cuencas Grijalva-Usumacinta (119,921 ha), río Papaloapan (55,050 ha), río Coatzacoalcos (16 mil ha) y río Pánuco (12 mil ha).

En relación a los matorrales xerófilos, la cuenca que sobresalió en superficie degradada es río Bravo (478,718 ha); esto equivale al 38% de todos los matorrales degradados a nivel nacional. En total, más de un millón de hectáreas de matorral cambiaron de vegetación primaria a secundaria en el periodo estudiado.

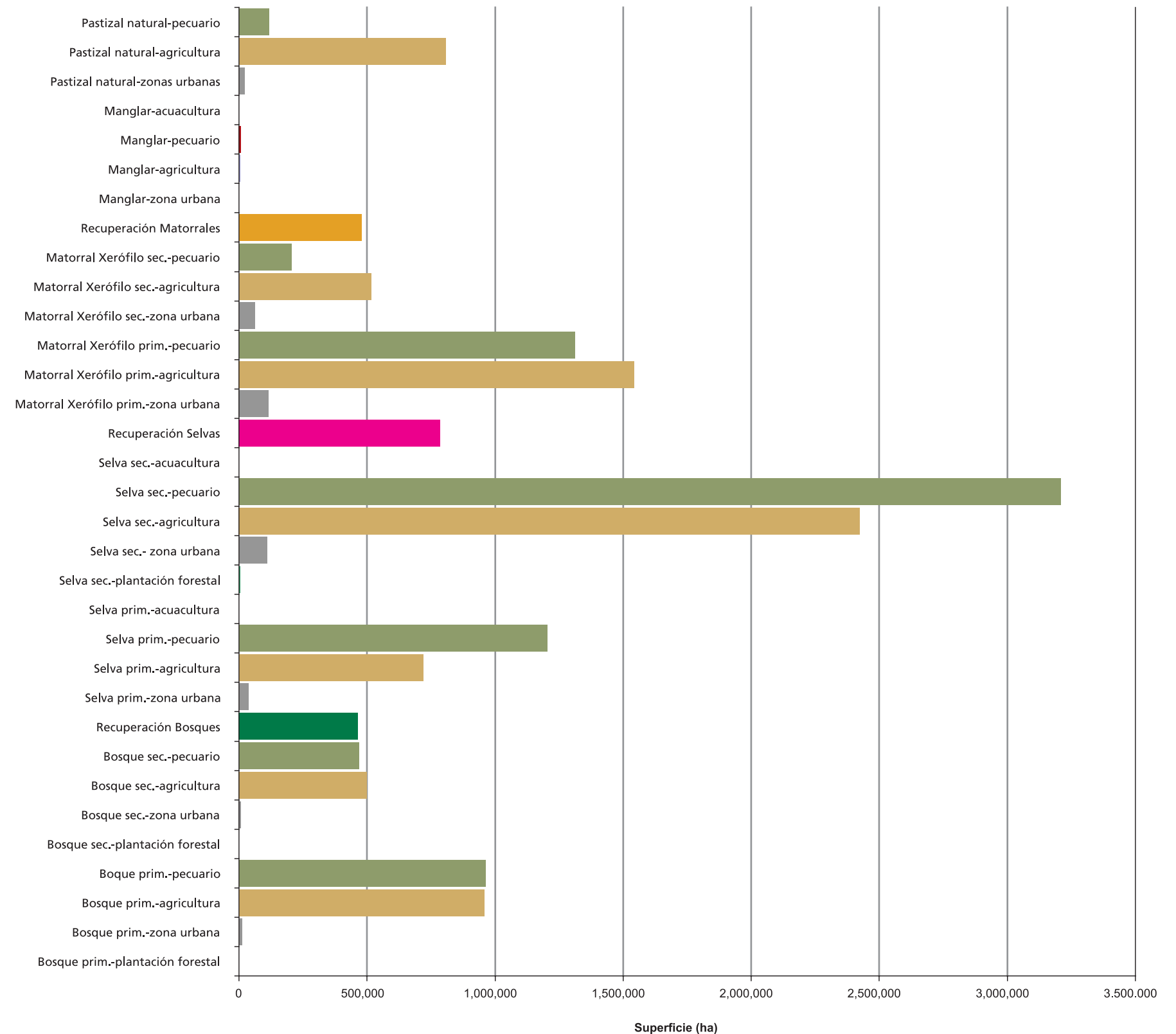
Aunque al interior de las cuencas la degradación del matorral tiene impactos negativos, debido a su extensión a nivel nacional la superficie total degradada representa poco más del 1.5% de total de matorrales del país. Desafortunadamente, la recuperación de los matorrales xerófilos presenta el mismo patrón que las selvas: extensas zonas degradadas con muy poca incorporación de vegetación considerada nuevamente primaria. A nivel nacional la superficie de matorrales que se regeneraron es equiparable a la superficie de matorrales degradados en la cuenca del río Bravo, poco más de 479 mil hectáreas (Figura 5).

Challenger A., Dirzo *et al.* (2009), describen como causas principales de pérdida y degradación de los matorrales, el sobrepastoreo, el subpastoreo, la ganadería extensiva, la compactación y erosión del suelo, la creación de distritos de riego y su consecuente sobreexplotación de fuentes naturales de agua.

TASA DE PÉRDIDA DE LA VEGETACIÓN NATURAL

Como se ha mencionado anteriormente, la vegetación natural es un componente primordial para que una cuenca realice sus funciones hidrológicas de manera óptima. Partiendo de esta premisa, se puede inferir entonces cierto grado de deterioro en la funcionalidad de una cuenca, basándose en primera instancia en la extensión que dichos sistemas naturales ocupan dentro de su territorio (consultar capítulo *Estado actual del uso de suelo y vegetación en las cuencas de México*). Sin embargo, no sólo la situación actual es importante para evaluar el estado ambiental de una

Figura 6. Superficie perdida por tipo de vegetación y proceso, a nivel nacional (Prim.= primario, Sec.= secundario).



TASA DE PÉRDIDA ANUALIZADA DE LA VEGETACIÓN NATURAL (1976-2009)



cuenca, sino también resulta muy útil, en materia de toma de decisiones, comprender el ritmo de pérdida y degradación de sus sistemas naturales a lo largo del tiempo, esto es, entender la historia de la degradación de las cuencas, distinguiendo a la vegetación natural como uno de sus componentes esenciales. Este análisis dinámico y comparativo en el tiempo nos permite diferenciar y clasificar a las cuencas a partir de sus distintas tasas de pérdida de vegetación natural. Dicho análisis, también ofrece la posibilidad de identificar (con la incertidumbre inherente a los datos y a los procesos de degradación mismos) aquellas cuencas que podrían alcanzar un umbral crítico de pérdida si su comportamiento o velocidad se mantuviese (lineal) como hasta ahora.

Por lo anterior, calculamos la tasa a la cual cada cuenca pierde anualmente su cobertura vegetal natural (primaria y secundaria) usando como referencia los productos mencionados en la primera parte de este documento (INEGI Serie I, 1976 y Serie IV, 2009). La fórmula matemática utilizada para dicho cálculo fue:

$$r = 1 - \left(1 - \frac{A1 - A2}{A1} \right)^{1/t}$$

Donde A1 es la vegetación en la primera fecha del estudio, A2 representa la vegetación en el último periodo estudiado y t es la diferencia de años entre ambas fechas. El mapa contiguo muestra las tasas de pérdida de vegetación natural en cada cuenca.

Como se observa en el mapa, existe una clara relación entre el tamaño de las cuencas y la cantidad de hectáreas perdidas anualmente (tasa anual de pérdida). Resaltan las elevadas tasas entre las que oscilan las cuencas río Bravo, Grijalva Usumacinta (de 40,001 a 52,000 ha/año), Pánuco y río Balsas (20,001 a 40,000 ha/año) y las altas tasas de cuencas como Santiago, Papaloapan, Coatzacoalcos,

río Soto La Marina y la península de Yucatán, entre otras (10,001 a 20,000 ha/año). El territorio de estas nueve cuencas ocupa 40% del país, y estos grupos o rangos de tasas, también son por ende las tasas predominantes en el territorio nacional. Esto ilustra la dimensión e intensidad de los procesos de pérdida en las cuencas del país.

En orden de dominancia territorial, el rango de tasas que sigue a estos grupos es el que fluctúa entre 1,001 a 10,000 ha/año y que ocupa el 36% del territorio; en este grupo se encuentran 59 cuencas; la mayoría de éstas se hallan en la vertiente del Pacífico y Golfo de California, destacando río Yaqui, San Pedro, Ameca, y Ayuquila-Armería; otras cuencas son de tipo endorreico y se ubican en el centro-norte del país, como río Nazas, lago La Mancha, en Zacatecas y lago Santa Clara, entre Zacatecas y San Luis Potosí.

Los rangos de tasas restantes se distribuyen en cuencas que ocupan el 19% del territorio nacional; un grupo de éstas ocupa 15% del país y presenta tasas de 1-500 ha/año; corresponde a algunas cuencas cerradas del norte del país así como a algunas cuencas de la península de Baja California. Sólo 5% del territorio nacional junto con sus cuencas pueden considerarse unidades sin pérdida y donde se mantiene cierto grado de estabilidad. Finalmente, el grupo de cuencas que cuenta con tasas de entre 501-1,000 ha/año sólo ocupa un 4% del país; son cuencas exorreicas pequeñas y se localizan de manera heterogénea a lo largo del territorio.

En promedio, las cuencas del país pierden alrededor de 1,130 ha/año de vegetación natural; esta cifra retoma gran trascendencia cuando se observa que el 70% de las cuencas del país (270) son menores a 200 km². Si esta cifra se sigue cumpliendo en años subsecuentes, implicaría un riesgo inminente para la funcionalidad de todas estas cuencas pequeñas. De igual forma, encontramos grandes cuencas en donde esta cifra se eleva hasta

cerca de 52,000 ha/año (río Bravo), lo cual tampoco resulta irrelevante considerando parámetros a nivel nacional.

De manera global, las tasas acumuladas de todas las cuencas del país reflejan una pérdida de 446,460 ha/año según los insumos empleados y la fórmula utilizada.

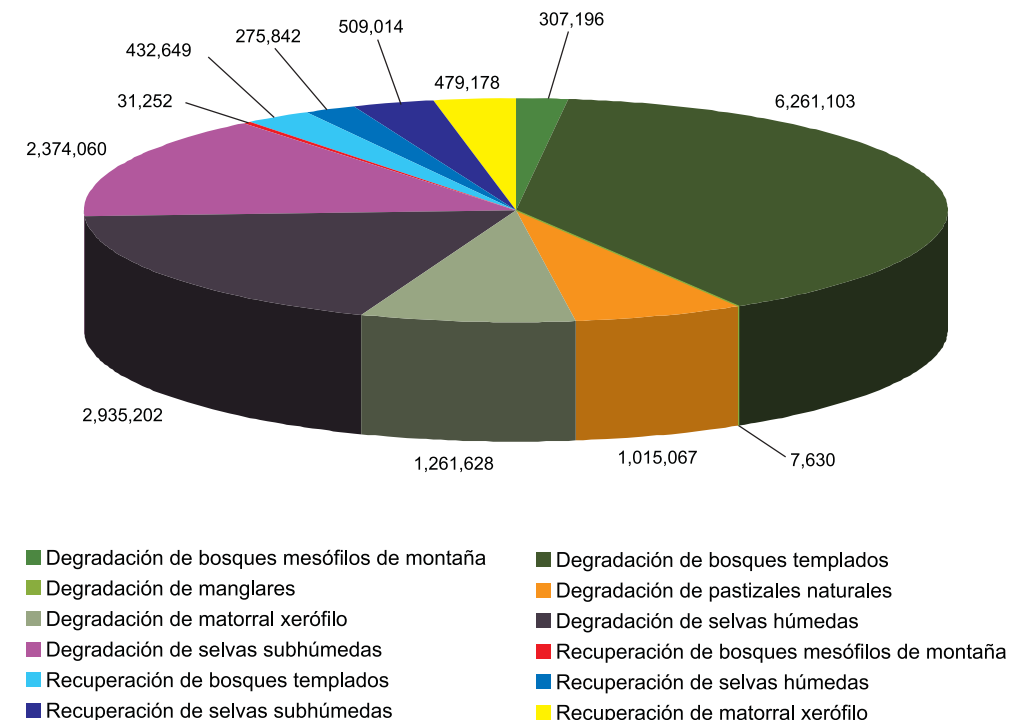
A manera de conclusión, se puede decir que el estudio geográfico y multi-temporal de la dinámica de la vegetación natural a partir de la configuración espacial de las cuencas hidrográficas permite contextualizar los procesos de pérdida, degradación y recuperación, además de su velocidad. Esto facilita priorizar acciones de manejo (conservación, restauración y aprovechamiento) acordes a sus características y complejidades, lo que conlleva, naturalmente, un análisis individual más detallado de cada sistema hidrográfico.

La pérdida de vegetación (tanto en superficie como en tasas) tiene dos connotaciones para la toma de decisiones en materia de política ambiental y territorial del país. Por un lado

existe un gran número de cuencas pequeñas cuya cifra promedio de pérdida anual es relativamente baja; no obstante, relacionada esta pérdida al tamaño de cada cuenca resulta importante, pues amenaza su funcionalidad ecohidrológica en escalas de tiempo menores y conduce a la pérdida de servicios ambientales. Las acciones en este sentido podrían ir encaminadas a conservar la funcionalidad de un gran número de cuencas en el país, aunque se cubra poca superficie nacional.

Por otro lado, a pesar de que existen cuencas en las que la pérdida relativa de vegetación ha sido poca y por lo tanto conlleva procesos de degradación en escalas temporales mayores, debido a su gran extensión, dicho detrimento se vuelve sumamente significativo para el país. El esfuerzo para revertir la degradación y consiguiente pérdida funcional en estas cuencas significaría un mayor impacto en términos de superficie pero menor en cuanto a número de cuencas. En esta circunstancia están río Bravo, o la península de Yucatán.

Figura 7. Superficie, por tipo de vegetación, degradada y recuperada a nivel nacional. Los valores indican hectáreas.



DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO

ARTURO GARRIDO Y HELENA COTLER

LOS SUELOS SON FUNDAMENTALES para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, ya que ofrecen el soporte y el suministro de nutrientes a los cultivos y la cobertura forestal. Los suelos cumplen además otras funciones igualmente trascendentes, como constituir un medio filtrante que permite la recarga de los acuíferos, influyendo de este modo en la calidad del agua. Asimismo, constituyen el medio donde se realizan los ciclos biogeoquímicos necesarios para el reciclaje de los compuestos orgánicos y tienen la capacidad de filtrar, amortiguar, degradar, inmovilizar y detoxificar materiales orgánicos e inorgánicos.

En función de las condiciones ambientales, los suelos pueden formarse a una tasa de un cm de espesor por cada uno a cuatro siglos. Sin embargo, su manejo inadecuado puede ocasionar su pérdida en pocos años. Por ello, se considera a los suelos como recursos no renovables en la escala humana de tiempo (Cotler *et al.*, 2007).

La degradación del suelo es un proceso inducido por el hombre que disminuye la capacidad actual y futura de este recurso para sostener la vida humana. Los procesos de

degradación de suelos pueden dividirse en dos grandes categorías (Oldeman, 1988). La primera se refiere a la degradación del suelo por desplazamiento del material edáfico. En ella podemos encontrar a la erosión hídrica y eólica. Una segunda categoría se refiere a la degradación de suelos como resultado de un deterioro interno, *in situ*. En esta categoría encontramos a la degradación química que engloba la pérdida de nutrientes, la contaminación, la acidificación y la salinización; a la degradación física, que abarca el encostramiento, la compactación y el deterioro de la estructura del suelo y finalmente, a la degradación biológica que es el resultado de un desequilibrio en la actividad biótica en el suelo, incluida la pérdida del banco de semillas y microorganismos de importancia en procesos de fertilidad y descontaminación. Es importante aclarar que muchos de estos procesos se encuentran intrínsecamente relacionados entre sí y operan frecuentemente de manera simultánea (Oldeman *et al.*, 1991).

En una cuenca los procesos de degradación de suelos ocasionan diversas y extensas externalidades negativas, como el aumento de la sedimentación en cuerpos de agua, la disminución de la *vida útil* de las presas, la degra-

METODOLOGÍA

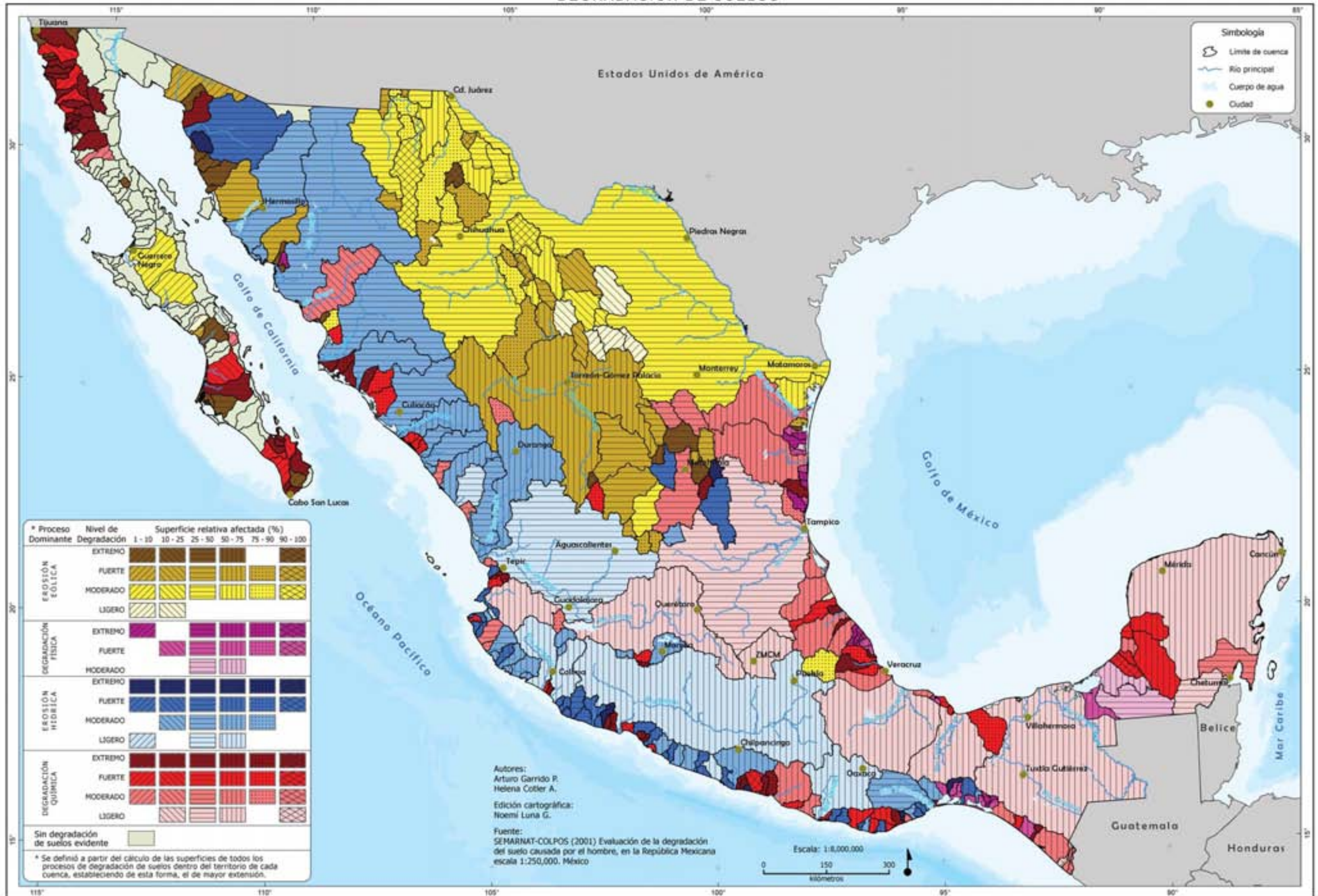
ESTE TRABAJO SE DIVIDE METODOLÓGICAMENTE EN DOS ETAPAS:

La primera consiste en realizar algunas adecuaciones conceptuales y espaciales (ajustes cartográficos y de leyenda) al Mapa de Degradación de Suelos (en adelante MDS) para poder relacionarlo geográficamente con cada cuenca hidrográfica del país a través de técnicas de análisis en ambiente de SIG. Dichas adecuaciones consistieron en procesar la tabla de atributos del MDS para generalizar su información, eliminando del mapa aquellos polígonos que no presentaban ningún proceso de degradación de suelos. Empleando también la tabla de atributos se generaron, a través de operaciones de agregación de columnas, las siguientes categorías de degradación: erosión eólica, erosión hídrica, degradación física y degradación química.

Se asignaron los polígonos del mapa de degradación de suelos a cada una de las cuencas del país de acuerdo a tres criterios: (i) la coincidencia geográfica total entre unidades espaciales (unidad cuenca y unidad de mapeo de suelos), (ii) la existencia de una coincidencia de un 75% entre las unidades de suelos con la del territorio de una cuenca y (iii) si una unidad de mapeo de suelos se encontraba compartiendo su área con dos o más cuencas, se procedió a asignar dicho polígono de manera equivalente a dicha distribución superficial, es decir, se asignó el dato de superficie afectada a cada una de las cuencas en las que repartía su superficie.

En la segunda etapa, se realizó el análisis de las cuencas del país para conocer la situación de degradación de sus suelos de acuerdo a la cuantificación del área total afectada en cada cuenca por algún proceso de degradación; también se definieron, por criterios de superficie, los procesos dominantes y secundarios (en su caso) junto con sus intensidades. Dicho análisis se presenta en forma de mapas, empleando a la cuenca como unidad de representación de resultados.

DEGRADACIÓN DE SUELOS



dación del hábitat acuático y el aumento del riesgo de inundación, entre otros (Cotler *et al.*, 2007). Estos procesos ocurrirán en diferentes escalas espacio-temporales dependiendo de su ubicación geográfica dentro de la cuenca, de la dinámica propia del relieve, del régimen climático y del uso histórico y actual de la tierra, entre los factores más importantes. Por la influencia que tiene en la funcionalidad hídrica de una cuenca y por su enorme relevancia para el ámbito productivo y ecológico, es importante conocer los procesos de degradación de suelos a lo largo de una cuenca, para planificar eficientemente las diferentes acciones y medidas de conservación de suelos, así como para mantener otros servicios ambientales, como la provisión de agua.

Para nuestro país, el trabajo que se aproxima al diagnóstico de este recurso fue elaborado por SEMARNAT-COLPOS en 2002 (basado en Oldeman *et al.*, 1991). No obstante sus limitaciones metodológicas inherentes, como la incertidumbre en la localización geográfica de los procesos degradativos del territorio, retomamos las unidades cartográficas de dicho estudio para este análisis, adecuándolas espacial y conceptualmente a los límites de las cuencas hidrográficas del país.

La distribución geográfica de los procesos de degradación de suelos (ver Mapa), bajo la perspectiva de las cuencas hidrográficas de México, muestra que 129 cuencas —las cuales son también las que ocupan mayor superficie nacional (665,842 km²)— presentan como proceso predominante la degradación química

(generalmente la declinación de la fertilidad). En 80 cuencas predomina la erosión eólica, abarcando una superficie de 595,459 km² (31%); en 81 cuencas prevalece la erosión hídrica (573,379 km²) y 30 cuencas están afectadas principalmente por la degradación física (32,041 km²). Según los datos utilizados 73 cuencas no presentan evidencia de ningún proceso de degradación de suelos (76,039 km²). La distribución estadística del proceso dominante por número de cuencas y el área afectada se muestra en la Figura 1.

En cuanto a la superficie relativa *real* degradada de las 320 cuencas que se encuentran afectadas por la degradación de sus suelos, 40 presentan entre 1 y 10% de su superficie afectada, sumando todas ellas un territorio de 70,814 km²; estas cuencas equivalen a un 4%

del territorio nacional (Figura 2). Esto indica que potencialmente existen alrededor de 7,080 km² (el 10%) de suelos afectados dentro de ellas. Por otro lado, 23 cuencas se encuentran afectadas entre el 10 y el 25% de su superficie; en conjunto equivalen casi a otro 4% del territorio nacional, que corresponde a 68,872 km². Esto indica que podrían estar afectados hasta 17,000 km² de suelos dentro de este grupo de cuencas hidrográficas.

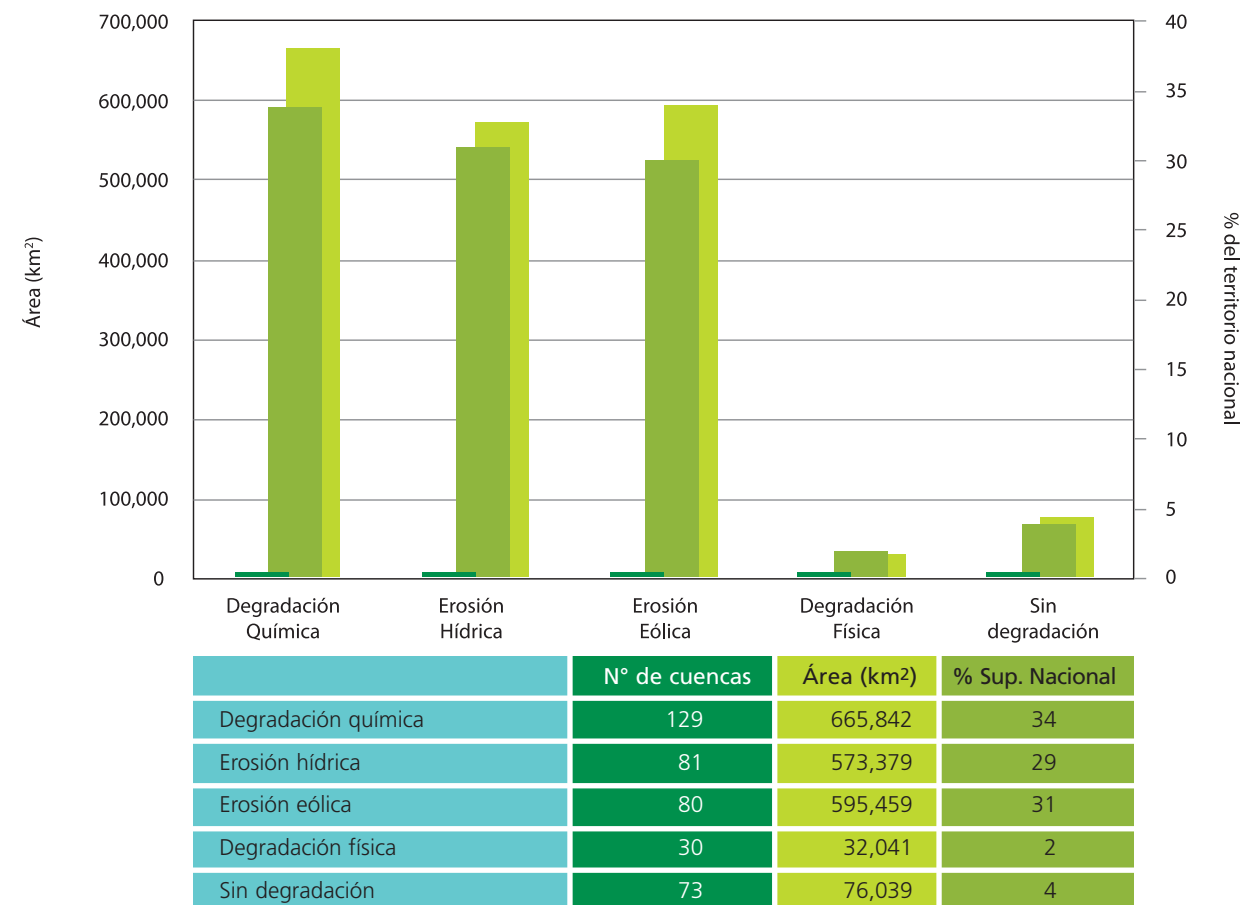
Asimismo, el número de cuencas que presenta una superficie afectada entre el 25 y el 50% de su territorio son 75, y éstas ocupan a su vez un 42% del total del país, equivalente a una superficie de 811,398 km². De este grupo de cuencas, alrededor de 405,000 km² de suelos (50%) podrían presentar problemas de degradación. El siguiente grupo de cuencas cuenta con una superficie relativa afectada de entre 50 y 75% de su territorio y lo conforman 95 en total; la superficie de éstas suman 777,717 km², esto equivale a 40% del país; de esta superficie, el área degradada podría ascender hasta 500,000 km². Son 58 cuencas con afectación de entre 75 y 90% de su superficie, y ocupan un 5% del país, es decir 100,671 km². La superficie afectada en ellas podría sumar hasta 90,000 km². Finalmente, las 29 cuencas que componen la siguiente categoría de superficie relativa afectada, mayor al 90%, ocupan en total de 37,229 km², y representan solamente un 1.8% de la superficie del país. Como consecuencia, la superficie afectada podría ser muy cercana a la citada más arriba.

Además de la distribución de estos fenómenos es importante acotar que cada proceso de degradación afecta, a veces de manera irreversible, las funciones que proporciona el suelo, llegando en casos extremos hasta su completa destrucción. Económicamente, el costo de la erosión de suelos agrícolas puede estimarse entre 39 y 79 dólares por ha (Cotler y Martínez, 2010), mientras que su recuperación puede oscilar entre los 5 mil pesos (CONAFOR, 2006) y los dos mil dólares por hectárea

FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB



Figura 1. Proceso dominante de degradación de suelos en las cuencas de México.



(Werner, 2002), en función del tipo y el grado de degradación.

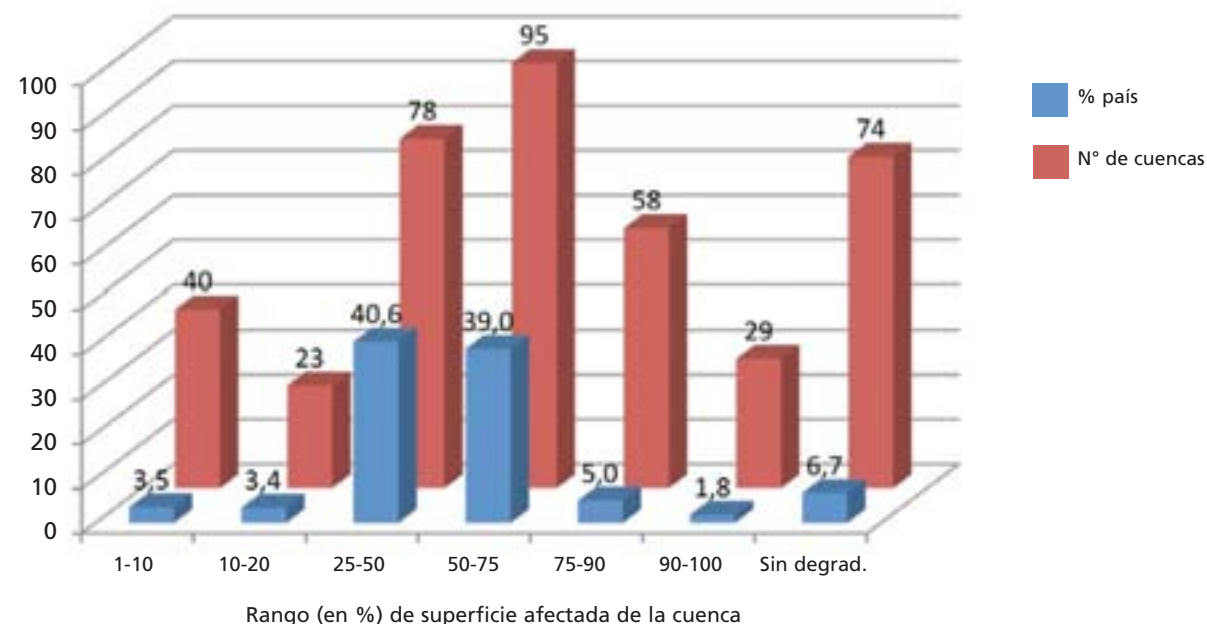
Actualmente las funciones de conservación de suelos en México recaen tanto en SAGARPA, para los suelos agrícolas, y CONAFOR, para los suelos forestales. Sin embargo, el grado y la rapidez del deterioro ameritan no sólo la ejecución de medidas correctivas sino la incorporación de medidas preventivas como parte de los sistemas de producción. Dado que las causas principales de los procesos de degradación se encuentran relacionadas principalmente con las actividades agrícolas y pecuarias (SEMARNAT, 2009), se requiere incorporar en todos los programas prácticas que fomenten el manejo adecuado y sustentable del suelo.

Los efectos secundarios que conlleva el manejo inadecuado de los suelos en la cuenca hidrográfica son evidentes no sólo en el sitio dónde ocurren, sino también fuera de él. Las consecuencias externas se reflejan en el deterioro de la calidad del agua por la contaminación con residuos de fertilizantes químicos y pesticidas propios de las actividades agrícolas, así como por la excesiva carga de sedimentos y materia orgánica (ver capítulo

de *Contaminación difusa*). La interconectividad hidrológica de una cuenca origina que los efectos de la degradación del suelo se reflejen también en la cuenca abajo disminuyendo la vida útil de obras de infraestructura, y en general deteriorando los servicios ambientales de la misma.

Finalmente, habrá que poner atención en aquellas cuencas con mayor superficie relativa degradada, pues aquellas cercanas a tener la mitad de su superficie afectada estarán migrando hacia un estadio ambiental crítico, sobre todo en las cuencas de mayor tamaño pues esto conlleva un enorme reto en términos de costos de rehabilitación y restauración. Por lo tanto, para orientar de manera más eficaz los esfuerzos de restauración y conservación de suelos habrá que tomar en cuenta otras características de los procesos de degradación, como la propia intensidad y los factores generadores de esa degradación. Evidentemente, se requerirán análisis más detallados de las determinaciones de este proceso. Las causas pueden ser diversas y tendrán que ser revisadas a una escala de mayor detalle que el mostrado en este trabajo.

Figura 2. Superficie real de las cuencas afectadas por los procesos de degradación de suelos.



EL ESTADO DE ALTERACIÓN ECOHIDROLÓGICA DE LOS RÍOS DE MÉXICO

ARTURO GARRIDO, MARÍA LUISA CUEVAS, HELENA COTLER, DANIEL IURA GONZÁLEZ Y REBECCA THARME

LOS SISTEMAS FLUVIALES ofrecen servicios ambientales esenciales tales como la provisión de agua, la agricultura de riego y de humedad y la generación de energía eléctrica. Además, ayudan a controlar de forma natural las crecidas y avenidas extraordinarias, así como a depurar el agua de ciertos contaminantes; ofrecen espacios para la recreación y el esparcimiento y también generan beneficios económicos derivados de actividades productivas como la pesca y el turismo.

Por ello, los ríos no sólo deben ser considerados como simples redes conductoras de agua, sino también como sistemas naturales altamente complejos y diversos, cuya dinámica espacial y temporal es indispensable para el funcionamiento de otros ecosistemas como los riparios, los lacustres y estuarinos, y los sistemas costeros. Gracias a su régimen hidrográfico, los ríos redistribuyen agua, nutrientes, sedimentos y energía, desde las partes altas de las cuencas hacia las zonas medias y bajas, manteniendo la fertilidad de los suelos y el equilibrio del ciclo hidrológico, además de promover el intercambio entre organismos y ecosistemas y salvaguardar la diversidad genética del territorio (Postel y Richter, 2003).

En años recientes, debido a la acción humana, los ríos del mundo se encuentran seriamente amenazados. Por ejemplo, 77% de los 139 ríos más grandes del norte de Europa, Norteamérica y de las repúblicas de la ex Unión Soviética, se encuentran entre fuerte a medianamente afectados por la fragmentación y la regulación del flujo hídrico causada por la construcción de grandes presas (Nilsson *et al.*, 2005).

Entre los impactos directos que mayormente afectan a la integridad ecológica de los ríos, sobresale la disminución, desviación, represamiento —o en el caso más crítico— el agotamiento total del caudal ocasionado por la inadecuada construcción, diseño y operación de obras hidráulicas como presas, bordos, canales, acueductos y otros embalses artificiales (Nilsson *et al.*, 2005; Jansson *et al.*, 2000; Dynesius y Nilsson, 1994; Baxter, 1977).

Es por ello que actualmente, en lugares donde el agua de los ríos está sujeta a diversas presiones de uso, es apremiante la definición y negociación de lo que se conoce como *caudal ecológico*. Este se refiere, en su aseveración más simple, a la cantidad de agua necesaria y suficiente que se permite fluir en los ríos para asegurar los diferentes beneficios ambientales,

económicos y sociales que de ellos se obtiene, cuenca abajo (Dyson *et al.*, 2003).

Un componente esencial de los sistemas fluviales son las zonas riparias. A pesar de ocupar una pequeña superficie en la cuenca, en estas zonas se producen los intercambios más significativos de nutrientes y energía que dan origen a otros ciclos ecológicos, tales como el anidamiento y desove de organismos y la reproducción y crecimiento de ciertas especies de peces y anfibios durante épocas de crecidas. Las zonas ribereñas también controlan y regulan grandes avenidas durante las crecidas. En consecuencia, las modificaciones que se hagan a este entorno también se reflejarán en la integridad ecológica de los ríos (Brooks *et al.*, 2003).

Los efectos de la degradación ambiental debido al inadecuado manejo territorial que ocurre en las cuencas también repercute en el estado de salud de los ríos (Toledo, 2006; Jiménez *et al.*, 2005; Postel y Richter, 2003; Revenga *et al.*, 2000; Rosenberg *et al.*, 2000).

En México, la riqueza hídrica superficial asciende a 378.4 km³ (CONAGUA 2008). Este volumen hídrico no se distribuye homogéneamente en todos los ríos del territorio nacional, sino que una mayor proporción, el 65%, se concentra en tan sólo siete sistemas: Grijalva-

Usumacinta, Papaloapan, Pánuco, Coatzacoalcos, Balsas, Santiago y Tonalá.

Debido al valioso papel que juegan los ríos para el adecuado funcionamiento de una cuenca hidrográfica, es fundamental conocer como paso inicial, su nivel de alteración actual para así focalizar acciones y esfuerzos encaminados a su conservación y restauración para, en síntesis, mejorar su manejo. Este tipo de acciones permitirán en consecuencia asegurar en el largo plazo la valiosa gama de servicios ambientales que ofrecen a la sociedad.

El objetivo de este trabajo consiste en generar un escenario nacional que nos muestre el estado de alteración ecohidrológica de todos los ríos del país, a través de un modelo de evaluación cimentado en el análisis de información geográfica disponible. Por lo tanto, el método se fundamenta en el diseño e implementación de un modelo espacial multicriterio que consta de 75 variables (Garrido *et al.*, 2010). En este modelo se integra, sistematiza y estructura información geográfica organizada jerárquicamente en un árbol de decisiones según Anselin y Meire (1989), Malczewski (1999) y Sharifi y Herwijnen (2003).

Bajo el marco de este modelo se busca evaluar el impacto acumulado de: 1) la presencia



y operación de infraestructura hidráulica ubicada físicamente sobre los cauces o en su proximidad; ii) la modificación de las áreas riparias y iii) el impacto del territorio que conforma las cuencas hidrográficas (Figura 1). Cada uno de los sub-bloques implica la evaluación de tres componentes fundamentales de los ríos: la propia red fluvial y su áreas riparias, delimitadas a partir de los valles fluviales y el territorio de sus cuencas. Ésta última se emplea como unidad de representación de los resultados. El modelo fue revisado y enriquecido por un grupo de expertos, cuya principal contribución fue la definición de pesos (ponderaciones) de sub-bloques y algunos criterios (variables). Para más detalles sobre los pasos metodológicos y materiales utilizados en este trabajo, consultar Garrido *et al.* (2010).

Los resultados de los tres sub-bloques aparecen en los Mapas 1, 2 y 3 (ver DVD adjunto). En este documento se muestra únicamente el resultado final del modelo que sintetiza la integra-

ción del los tres sub-bloques (Mapa y Cuadro 1).

Se analizaron los 577,976 km de longitud que componen la red de drenaje del país, 322,868 km² de superficie riparia (valles fluviales) y el área de las 393 cuencas hidrográficas que componen al territorio nacional, esto es 1,938,233 km². Los siete sistemas fluviales que muestran el nivel más crítico de alteración eco-hidrológica son los ríos de la cuenca de México, el río Balsas, los ríos de la cuenca del lago de Cuitzeo, el río Bravo, el río Santiago, el río Pánuco y el río de San Luis Potosí. Estos siete sistemas corresponden a un 31% de la longitud total de la red hidrográfica del país. Las superficies de las cuencas hidrográficas de éstos ocupan un 26% del territorio nacional.

Para el caso contrario, del conjunto de ríos que se distinguen por tener el nivel de alteración más bajo en todo el país, resaltan los que se encuentran en la península de Baja California, algunos sistemas que drenan a la

Figura 1. Modelo conceptual general para evaluar la alteración eco-hidrológica de los ríos de México.

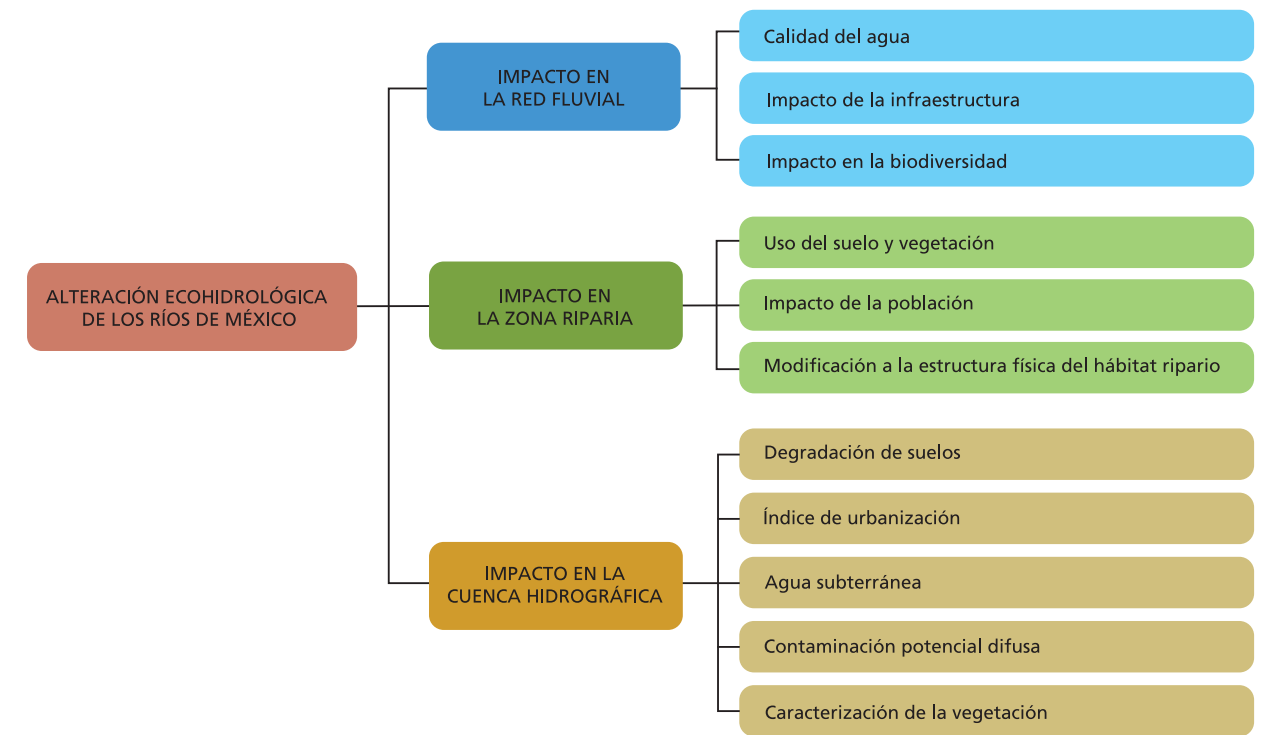


FOTO: ARTURO GARRIDO

CUADRO 1. SÍNTESIS DEL GRADO DE ALTERACIÓN ECOHIDROLÓGICA DE LOS RÍOS DE MÉXICO

Grado de Alteración Ecohidrológica	N° cuencas-sistemas fluviales	% número relativo cuencas	Área total (km ²)	Área relativa (%)	Longitud red de drenaje (km)	Longitud relativa (%)
Muy Alto	7	2	514,458	27	177,575	31
Alto	22	6	426,626	22	135,149	23
Medio	52	13	424,651	22	108,774	19
Bajo	88	22	297,443	15	78,045	13
Muy Bajo	224	57	275,055	14	78,433	14
Totales	393	100	1,938,233	100	577,976	100



FOTO: ARTURO GARRIDO

CUADRO 2. POBLACIÓN TOTAL Y RELATIVA Y EL NIVEL DE ALTERACIÓN ECOHIDROLÓGICA POTENCIAL DE LOS RÍOS DE MÉXICO

Grado de Alteración Ecohidrológica	N° de cuencas	Longitud relativa	Población total	Población relativa
Muy Alto	7	31	53,232,504	52
Alto	22	23	29,561,856	29
Medio	52	19	12,520,335	12
Bajo	88	13	5,643,754	5
Muy Bajo	224	14	2,051,464	2
Totales	393	100	103,009,913¹	100

vertiente del Pacífico norte, centro y sur, algunos que vierten hacia el Golfo de México y un número reducido de sistemas endorreicos localizados en la parte centro y centro-norte de México. Estos sistemas fluviales completan un total de 224 ríos (muchos de ellos de primer y segundo orden máximo), no obstante, sólo comprenden un 14% del total de los ríos y corrientes superficiales del país. Sus cuencas equivalen en total a tan sólo el 14% del territorio nacional.

En el escenario intermedio de alteración, es decir ríos con un grado alto y medio de alteración, sobresalen los sistemas fluviales de península de Yucatán, Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, río Jamapa, río Tecolutla, río Bobos, río Verde, río Papagayo, Lerma-Chapala, río Nazas, San Pedro, Fuerte, Mayo, Yaqui, Sonora, río Colorado así como el río Tijuana. Ocupando ambas categorías se encuentran 74 sistemas fluviales, acumulando una longitud que equivale al 42% de la extensión total de los ríos de México. Las 74 cuencas de estos sistemas ocupan el 44% de la superficie nacional.

En el territorio de las cuencas de los siete ríos más alterados del país reside poco más de la mitad de la población de México (52%), lo cual expresa la influencia de los habitantes en las cuencas. Asimismo, casi otro 30% de la población se asienta en cuencas de ríos clasificados como de alta alteración. La elevada

concentración poblacional sugiere la alta presión a la que estarán sometidos estos ríos en los años por venir. El ejemplo más evidente de esta relación son los ríos de la cuenca de México, en cuyo territorio habitan 19.6 millones de personas (INEGI, 2005). En el Cuadro 2 se puede apreciar la relación entre la población y la alteración de los ríos.

Considerando ambas categorías de alteración, alta y muy alta, alrededor del 55% de los ríos del país (313,000 km de longitud) se encuentran altamente modificados debido a la influencia humana. Estos 29 sistemas sostienen al 81 % de la población total de México (casi 83 millones), y sus cuencas ocupan el 49% del territorio nacional. Estas cifras podrían hablar de la estrecha relación entre la elevada alteración de los ríos y la intensa demanda de agua necesaria para satisfacer las necesidades de dicha población.

Si consideramos que el 65% del escurrimiento superficial del país se encuentra solamente en siete ríos (CONAGUA, 2008), es inquietante que tres de ellos se ubiquen en la categoría más elevada de alteración (Pánuco, Balsas y Santiago), mientras que otros dos (Papaloapan y Grijalva-Usumacinta) se encuentran en la categoría de alta. Los dos restantes (Coatzacoalcos y Tonalá) se encuentran con una baja alteración según el modelo aquí presentado. De igual forma, el río de mayor longitud de México, el Bravo, junto

con el río Grande de Morelia, cuyas aguas alimentan al segundo cuerpo natural de agua más importante del país, el lago de Cuitzeo, están clasificados en la categoría más elevada de alteración.

El escenario de alteración aquí presentado es una herramienta útil para orientar territorialmente a aquellos actores y tomadores de decisiones que se interesan en la salud e integridad de los sistemas fluviales del país. Este trabajo ayuda a identificar aquellos ríos y sus cuencas en las que es urgente modificar no sólo el manejo y operatividad de las obras hidráulicas para garantizar un caudal ambiental para los ríos, sino también para orientar esfuerzos de restauración y conservación de zonas riparias, planicies de inundación y el territorio de las cuencas, bajo el marco del manejo integral de cuencas.

Las variables e indicadores obtenidos en este trabajo indican por sí mismos aquellos aspectos problemáticos de cada sistema fluvial y el orden de prioridad en el cual cada uno de éstos podría de ser atendido; por ejemplo, conocer aquellos sistemas en los que sea apremiante reducir la fragmentación de la red fluvial a partir de un adecuado manejo de presas y bordos; o identificar aquellos ríos en los que se observe una marcada presencia de bancos de extracción de materiales que perturben el hábitat ripario y la morfodinámica fluvial.

A la luz de los escenarios de cambio climático para el país, conocer la integridad de los ecosistemas acuáticos es vital pues, de la disponibilidad, cantidad y calidad del agua dependen temas como la producción de alimentos, los servicios de saneamiento, el acceso al agua potable, y la preservación de la biodiversidad —la cual proporciona bienes y servicios ambientales que son de vital importancia para el planeta y la humanidad.

El conocimiento sobre el grado de alteración eco-hidrológica de los ríos del país es un elemento crucial para la toma de decisiones, no sólo en materia de programación hídrica e hidráulica, sino en materia de planificación territorial debido a la interacción y las relaciones que se dan entre los diferentes usos del territorio y los sistemas fluviales de las cuencas hidrográficas del país, siendo esta unidad natural la más adecuada para diseñar una mejor planificación.

La planificación hidráulica del país necesariamente tendrá que cambiar el enfoque actual respecto a los sistemas fluviales. Esto implicará visualizarlos no sólo como sistemas conductores de agua o sistemas de desagüe de las ciudades y áreas rurales, sino como sistemas funcionales y ecológicamente complejos, dinámicos y frágiles.

¹ INEGI, 2006. Principales resultados por localidad, II Censo de Población y Vivienda 2005.

RIESGO POTENCIAL DE LAS ACTIVIDADES DEL SECTOR ECONÓMICO SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LA SALUD HUMANA

ALBA ESMERALDA ZARCO ARISTA, ANA CECILIA ESPINOSA GARCÍA Y MARISA MAZARI HIRIART

EN MÉXICO, el impacto ambiental resultado de la alteración generada por las actividades económicas —entre las que se pueden mencionar la industria, la minería, la agricultura, la ganadería, la generación de energía, el transporte aéreo, la construcción en sus diversos tipos, la generación y manejo de residuos, así como la provisión de servicios— ha significado un deterioro paulatino del entorno, a tal grado que esta modificación del ambiente (*i.e.* agua, suelo) y sus efectos sobre la biodiversidad y la salud humana se han convertido en un problema que requiere atención en forma integral.

Dado este escenario, es necesario promover el crecimiento económico considerando la protección y conservación ambiental, lo que implica satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Para definir las alternativas a este respecto, se debe aplicar un enfoque integrado por medio de diversas estrategias que promuevan la conservación de la biodiversidad, la reducción en el consumo de recursos, así como la suspensión de la contaminación y su tratamiento.

En el presente trabajo, la ponderación del riesgo a los ecosistemas y la salud humana ocasionado por la actividad económica se realizó aplicando métodos multicriterio y de análisis espacial. El riesgo ha sido evaluado considerando la probabilidad de que la actividad (dados sus insumos, consumo de recursos naturales, procesos y residuos) provoque un efecto adverso en una situación particular de exposición. Tomando en cuenta que el riesgo no puede evitarse, es necesario ponderarlo y priorizarlo (Graedel y Allenby, 1995). Aún cuando esté basado en diversas suposiciones, se trata de llegar a la mejor aproximación en relación con la evaluación que se lleva a cabo, en este caso el riesgo que representan las actividades económicas para el ambiente y por consiguiente para los seres humanos. Priorizar cada actividad económica en función de sus impactos potenciales requiere incluir en su evaluación los insumos necesarios para la actividad, la presión sobre los recursos naturales derivada de la actividad misma y la afectación a la biodiversidad y a la población humana. Por otra parte, cuando se decide que un riesgo es aceptable, esto no significa que puede ser ignorado,

dado que un riesgo bajo no significa que la actividad es segura o inocua.

El presente trabajo tiene por objeto ponderar el riesgo potencial por actividad económica, determinar las cuencas que presentan los riesgos más altos, así como las cuencas prioritarias donde esto sucede, considerando el número de habitantes y los sitios relevantes de conservación ecológica.

METODOLOGÍA

Con base en el Censo Económico (INEGI, 2004), se seleccionaron 15 subsectores y 39 ramas de actividad económica, a partir de una evaluación rápida de los impactos de acuerdo con las variables consideradas (Cuadro 1). Para determinar el riesgo por actividad económica se definieron ocho grupos con diferente número de variables cada uno; la información de cada variable se obtuvo a partir de la búsqueda y revisión tanto de publicaciones como reportes relacionados con el tema. Se incluyen los siguientes grupos y variables:

1. Productos utilizados (*i.e.* fertilizantes, pesticidas, tintes, agentes espesantes, disolven-

tes, acetonas, anilina, compuestos de cadmio, cloruro de vinilo, plomo, mercurio, arsénico, PCB).

2. Residuos líquidos generados (*i.e.* lixiviados con fertilizantes, aceites, lubricantes, efluentes conteniendo: fenoles, orgánicos halogenados, pesticidas, metales pesados, bacterias, patógenos).

3. Residuos sólidos generados (*i.e.* metales, asbestos, catalizadores usados conteniendo: cobalto, molibdeno, níquel, óxido de hierro, óxido de cromo, óxido de cobre, óxido de zinc, hierro; contenedores contaminados con plaguicidas).

4. Presión sobre los recursos naturales (*i.e.* uso, consumo, contaminación del suelo, vegetación, agua superficial, agua subterránea).

5. Impacto sobre la biodiversidad (*i.e.* establecimiento de monocultivos, bioacumulación de contaminantes en la cadena alimenticia, incremento en la resistencia de las plagas a los productos fitosanitarios, afectación a la fauna del suelo, alteración de las interacciones interespecíficas, erosión genética (pérdida de variedades locales), afectación a las especies acuáticas).

RIESGO POTENCIAL A LA BIODIVERSIDAD Y LA SALUD HUMANA DERIVADO DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS

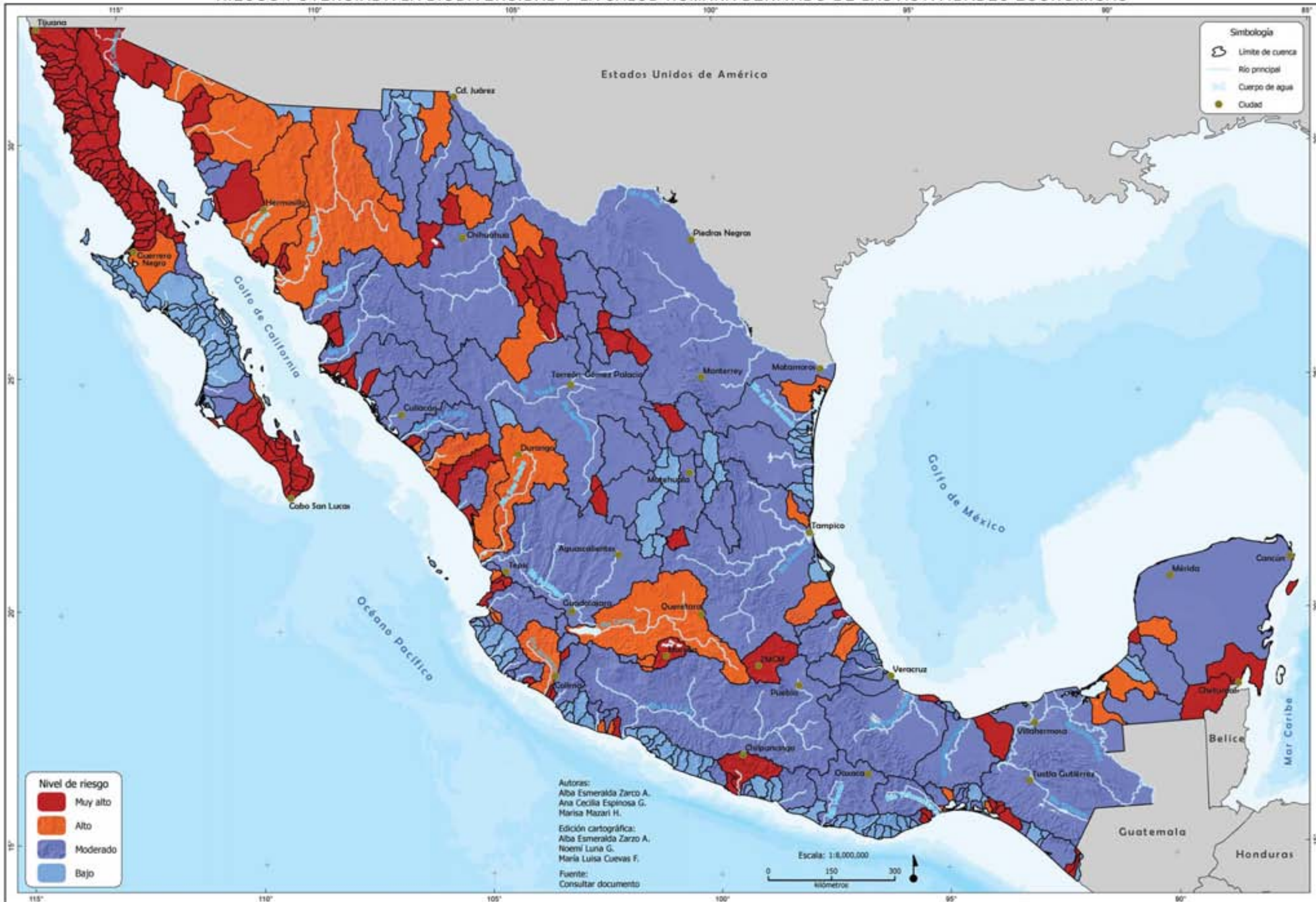
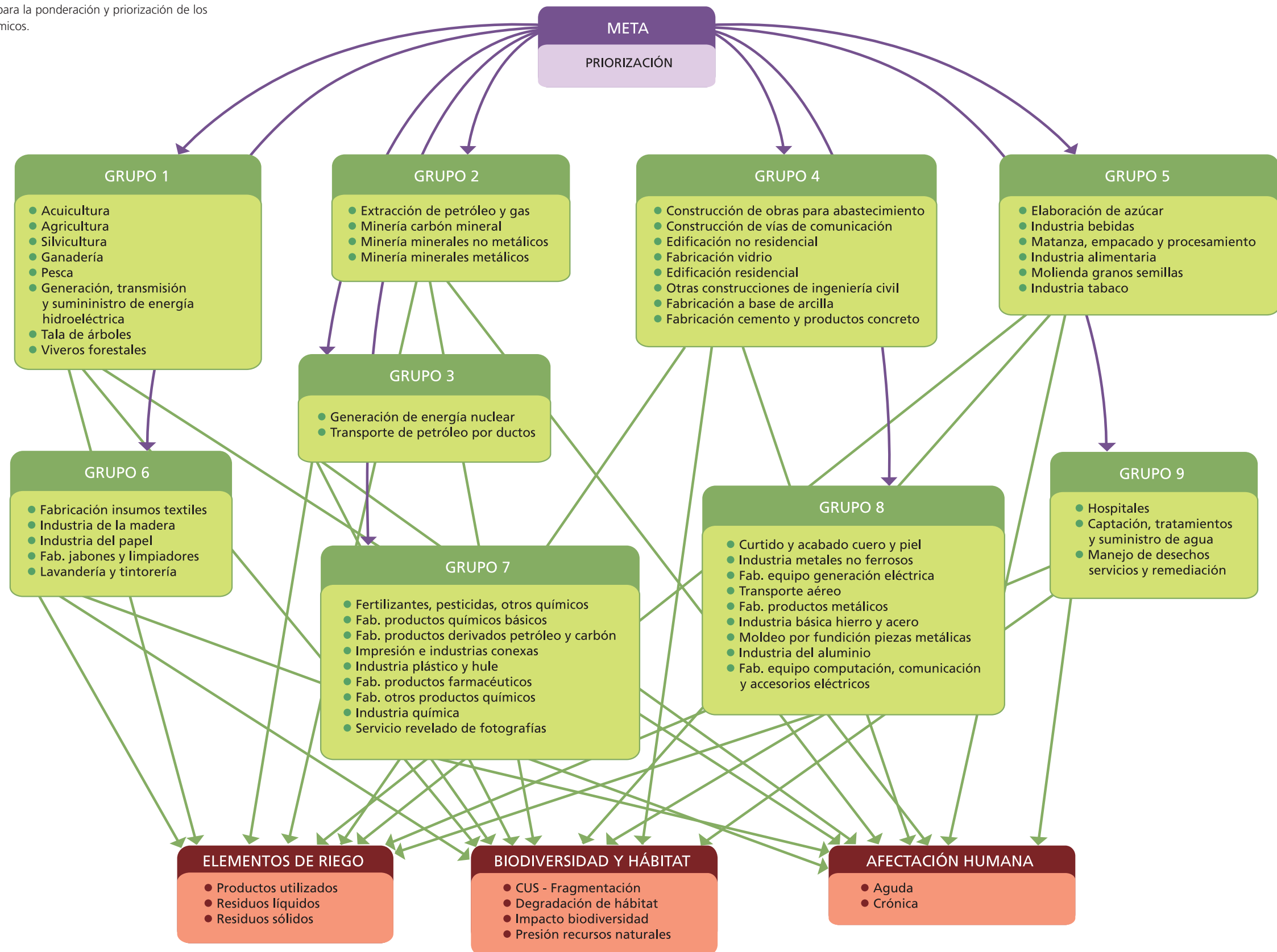


Figura 1. Red para la ponderación y priorización de los sectores económicos.



CUADRO 1. SECTORES Y SUBSECTORES DE ACTIVIDAD ECONÓMICA CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS

CÓDIGO INEGI	ACTIVIDAD
111	Agricultura
1125	Acuicultura animal
112	Ganadería
1131	Silvicultura
1132	Viveros forestales y recolección de productos forestales
1133	Tala de árboles
1141	Pesca
2111	Extracción de petróleo y gas
2121	Minería de carbón mineral
2122	Minería de minerales metálicos
2123	Minería de minerales no metálicos
2211	Generación, transmisión y suministro energía hidroeléctrica
NA	Generación de energía nuclear
2221	Captación, tratamiento y suministro de agua
2361	Edificación residencial
2362	Edificación no residencial
2371	Construcción de obras para el abastecimiento de agua, petróleo, gas, electricidad y telecomunicaciones
2373	Construcción de vías de comunicación
2379	Otras construcciones de ingeniería civil u obra pesada
3112	Molienda de granos y semillas oleaginosas
3113	Elaboración de azúcar, chocolates, dulces y similares
3116	Matanza, empacado y procesamiento de carne de ganado y aves
311	Industria alimentaria
3121	Industria de las bebidas
3122	Industria del tabaco
313	Fabricación de insumos textiles
3161	Curtido y acabado de cuero y piel
321	Industria de la madera
322	Industria del papel
323	Impresión e industrias conexas
324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón
3251	Fabricación de productos químicos básicos
3253	Fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos
3254	Fabricación de productos farmacéuticos
3256	Fabricación de jabones, limpiadores y preparaciones de tocador
3259	Fabricación de otros productos químicos
325	Industria química
326	Industria del plástico y del hule
3271	Fabricación de productos a base de arcilla y minerales refractarios
3272	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
3273	Fabricación de cemento y productos de concreto
3311	Industria básica del hierro y del acero
3313	Industria del aluminio
3314	Industria metales de metales no ferrosos, excepto el aluminio
3315	Moldeo por fundición de piezas metálicas
332	Fabricación de productos metálicos
334	Fabricación de equipos de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos
335	Fabricación de equipo de generación eléctrica y aparatos y accesorios eléctricos
481	Transporte aéreo
4861	Transporte de petróleo crudo por ductos
5621	Manejo de desechos, servicios y remediación
622	Hospitales
8122	Lavanderías y tintorerías
8129	Servicios de revelado de fotografías

6. Cambio de uso del suelo y fragmentación (*i.e.* fragmentación de los sistemas naturales, homogeneización del paisaje, deforestación, afectación no sólo a nivel de vegetación sino del funcionamiento del ecosistema, afectación de las rutas de dispersión por pérdida o reducción de la conectividad, incremento del número de parches).
7. Degradación de hábitats (*i.e.* afectación de los procesos reguladores naturales, perturbación de la estructura del suelo, reducción y/o eliminación del aporte de la materia orgánica del suelo, eutrofización de los cuerpos de agua, contaminación del agua por residuos tóxicos de pesticidas, alteración de los flujos de escurrimiento superficial).
8. Efectos en la salud humana a corto y largo plazo (aguda, crónica).

La ponderación y priorización de los sectores económicos se realizó a través de la modelación multicriterio aplicando la técnica del Proceso Analítico de Redes (ANP por sus siglas en inglés; Saaty, 2001); en él se integraron cada uno de los sectores económicos y las variables de respuesta antes mencionadas (Figura 1). Dado que el ANP permite incluir un número ilimitado de variables e interacciones, se incluyeron las interacciones para cada actividad económica, incorporando tanto variables cuantitativas como cualitativas.

Para determinar las categorías de riesgo se aplicó la Ley de Weber-Fechner (Lootsma, 1999; Saaty, 2001), para el riesgo potencial por cuencas se definieron cuatro categorías: bajo, moderado, alto y muy alto; en tanto que para el riesgo potencial de acuerdo con población total se consideraron cinco categorías: muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto.

La información de las actividades económicas desarrolladas en cada uno de los municipios del país se obtuvieron del Censo Económico (INEGI, 2004), Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (INEGI, 2007) y el Anuario Estadístico (PEMEX, 2009).

RESULTADOS

De acuerdo con el análisis realizado, las diez actividades productivas de más alto riesgo que se realizan en México, considerando el grado de alteración que producen, son (i) extracción de petróleo y gas, (ii) industria básica del hierro y del acero, (iii) fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos, (iv) minería de minerales metálicos, (v) fabricación de productos químicos básicos (vi) curtido y acabado de cuero y piel, (vii) industria de metales no ferrosos excepto aluminio, (viii) fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón, (ix) agricultura y (x) hospitales.

Los riesgos potenciales de las diversas actividades productivas se presentan en las siguientes secciones a nivel de cuenca, así como la relación de los riesgos potenciales sobre la población y el riesgo potencial y las prioridades de conservación.

RIESGO POTENCIAL POR CUENCAS

De acuerdo con el análisis por cuencas hidrográficas, (Mapa 1) las regiones de riesgos potenciales muy altos y altos se presentan en la península de Baja California, específicamente Baja California Norte y la zona sur de Baja California Sur, en los municipios de Ensenada, La Paz y Los Cabos, así como Mexicali, lo que abarca 90 cuencas. Este resultado se debe a la diversidad de actividades económicas que se realizan, entre las que predominan industria alimentaria, insumos textiles, madera, impresión e industrias conexas, fabricación de productos metálicos, minería, edificación residencial y no residencial, construcción de vías de comunicación, industria del tabaco, fabricación de vidrio, cemento y concreto, lavanderías y tintorerías, viveros forestales y recolección de productos forestales, así como agricultura y pesca.

En la zona norte de la república mexicana sobresale la región fronteriza, especialmente las cuencas de arroyo el Descanso, lago Salada, lago Babícora, río Colorado, río Asunción, río Yaqui, arroyo El Tapón y lago Ojo del Diablo. Esto abarca los municipios de Mexicali, Tecate, Tijuana, Playas de Rosarito, San Luis río Colorado, Agua Prieta, Cananea, Nogales, así como Ciudad Juárez, Piedras Negras, Sabinas, San Juan de Sabinas, Matamoros, Nuevo Laredo, Reynosa y Valle Hermoso. Entre las actividades económicas que se desarrollan están la industria química, industria del plástico y el hule, fabricación de productos metálicos, fabricación de equipos de generación eléctrica y aparatos y accesorios eléctricos, minería de minerales no metálicos, fabricación de cemento y productos de concreto, moldeo por fundición de piezas metálicas, fabricación de productos químicos básicos, transporte de petróleo crudo por ductos y fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón.

En la costa del Pacífico norte sobresalen 24 cuencas entre las que se pueden mencionar Bahía San Jorge, arroyo Victoria, arroyo Los Huérfanos, arroyo Bacoachi, río Sonora, río Matape, parte baja de la cuenca del río Yaqui, río Mayo, río Fuerte, Estero La Inicial, Bahía Ohuira, Estero Cohui, río Culiacán, río Presidio, río Acaponeta, desembocadura del río Santiago, río Chila, así como el extremo bajo de la cuenca del río Ameca. Entre las actividades productivas que más destacan están: agricultura, ganadería, industria de la madera, papel, química, productos químicos básicos, así como minería de minerales no metálicos.

En la costa del Pacífico sur sobresalen las cuencas río Armería, río Mexcalhuacán, río Carrizal de Arteaga, río La Sabana, río Papagayo, desembocadura del río Tehuantepec, río Tiltepec, río Zanatenco, río Coatán y río Cahoacán. Entre las actividades producti-

vas que más destacan se encuentran: industria alimentaria, industria de la madera, fabricación de productos metálicos, minería de minerales no metálicos, matanza, empaqueo y procesamientos de carne de ganado y aves; industria de las bebidas, fabricación de productos a base de arcilla y minerales refractarios, fabricación de cemento y productos de concreto, silvicultura, agricultura, tala de árboles y viveros.

En la costa del Golfo de México resaltan laguna Honda, río Barberena, río Tuxpan, río Tecoxtempa, río Tenixtepec, río arroyo Blanco, río Bobos, río Prieto, río Tonalá, río Chumpan, río Mamantel, laguna Xmuchil y laguna Santiago. En la península de Yucatán resaltan las cuencas laguna Bacalar y río Hondo. Las actividades productivas que más destacan son: industria de extracción de petróleo y gas, así como derivados de petróleo y carbón, industria química y química básica, alimentaria, procesamiento matanza y empaqueo de carne de ganado y aves, así como industria de la madera y el papel.

En la región centro-norte sobresalen las cuencas lago Encinillas, lago Bustillos, lago Del Cuervo; dentro de la cuenca del río Bravo, los municipios Chihuahua, Rosales, Hidalgo del Parral, Ramos Arizpe, García, Santa Catarina, General Escobedo, San Pedro Garza García, Monterrey, San Nicolás de los Garza, Guadalupe, Apodaca, Saltillo, Cadereyta Jiménez, Juárez y Montemorelos; asimismo, las cuencas arroyo El Venado, lago El Gigante, arroyo El Amagro, Bolsón de Mapimí, lago El Milagro, arroyo La Vega, arroyo Venton, Lomas el Venado, Valle El Hundido, Linares, la parte central de la cuenca río Nazas, parte alta de la cuenca río San Pedro, parte alta de la cuenca de Matehuala y la cuenca río Soto la Marina en el municipio de Victoria. Las actividades productivas que más destacan son la industria del hierro y del acero.

En la región central las cuencas Lerma-Chapala, lago de Pátzcuaro, lago de Cuitzeo, y

cuenca de México, entre cuyas principales actividades se pueden mencionar industria de bebidas, productos metálicos, farmacéutica, química, textil y agroquímica, entre otras.

RIESGO POTENCIAL DE ACUERDO CON LA POBLACIÓN TOTAL

El Mapa 2 muestra la sinergia entre el número total de población de acuerdo a la proyección al 2009 (CONAPO, 2008) por municipio-cuenca, en conjunto con la información sobre el riesgo potencial por actividades productivas. Se observa que los municipios urbanos con una población mayor a un millón de habitantes, que coinciden espacialmente con los principales centros urbano-industriales del país (Pisanty *et al.*, 2009), son los que presentan riesgo muy alto. Estos incluyen las cuencas arroyo El Descanso, arroyo Guadalupe, río Tijuana, río Bravo, lago Ojo del Diablo, lago Atotonilco, río Ameca, río Santiago, Lerma-Chapala, cuenca de México y río Balsas. En ellas los municipios de Tijuana, Juárez, Iztapalapa, León, Guadalupe, Zapopan, Ecatepec de Morelos, Monterrey y Puebla. Estos municipios se encuentran inmersos en las zonas metropolitanas y mayores zonas urbanas de la república mexicana como son la Zona Metropolitana (ZM) de la Ciudad de México, ZM de Guadalupe, ZM de Monterrey, ZM de Puebla, ZM de Toluca, así como Tijuana, Ciudad Juárez, ZM de León y ZM de Torreón.

De las cuencas con un riesgo potencial alto se pueden mencionar arroyo San Rafael, lago Salada, arroyo El Arrajal, río Colorado, río Bravo, río Nazas, lago Bustillos, lago Encinillas, río Presidio, río Acaponeta, río San Pedro, cuenca de México, río Santiago, Lerma-Chapala, lago de Cuitzeo, río Pánuco, cuenca de San Luis Potosí, arroyo El Venadito, río Sonora, arroyo Bacoachi, laguna Honda, río Conchos-Chorreras, río Tolomé, río Jamapa, Grijalva-Usumacinta y la península de

Yucatán, en donde se localizan los municipios de Aguascalientes, Mexicali, Saltillo, Torreón, Chihuahua, Gustavo A. Madero, Álvaro Obregón, Cuauhtémoc, Durango, Acapulco de Juárez, Tlaquepaque, Naucalpan de Juárez, Nezahuacóyotl, Tlalnepantla de Baz, Toluca, Morelia, Guadalupe, Querétaro, Benito Juárez, San Luis Potosí, Culiacán, Hermosillo, Centro (Tabasco), Reynosa, Veracruz y Mérida, que también son zonas urbano-industriales importantes del país.

Las tres grandes ZM del país: Ciudad de México, Guadalupe y Monterrey presentan una tendencia a conglomerar sitios de riesgo alto y muy alto (Mapa 2). Esto refleja que las ciudades que generan el mayor PIB son las que presentan condiciones para exponer a sus habitantes a diversos riesgos derivados de las actividades económicas que en ellas se realizan, lo cual puede manifestarse en efectos sobre la salud de los mismos habitantes. Se trata de zonas urbano-industriales en las que las actividades productivas se intercalan con el crecimiento de la ciudad debido a la carencia de una adecuada planeación, lo que junto con la heterogeneidad de los asentamientos humanos refleja diversos niveles de riesgo para ciertos sectores de la población.

PRIORIDAD DE ATENCIÓN Y PROTECCIÓN DE ACUERDO CON BIODIVERSIDAD

A partir de la conjunción de las zonas de alto y muy alto riesgo resultantes del análisis de las actividades productivas a nivel de cuenca, y su relación con los sitios de cero extinciones,¹ se obtuvo el mapa de prioridades de atención y conservación ecológica (Mapa 3).

La región noroccidental del país resulta extremadamente importante, con 66 cuencas que requieren atención prioritaria, resaltando la península de Baja California, con 50 cuencas en Baja California Norte y con seis cuencas Baja California Sur. Estas cuencas coinciden con las que presentan alto y muy alto

CUENCAS PRIORITARIAS PARA LA ATENCIÓN Y CONSERVACIÓN ECOLÓGICA SEGÚN SU RIESGO POTENCIAL



riesgo definidas por las actividades productivas que en ellas se desarrollan (Mapa 1). En Sonora y Sinaloa diez cuencas presentan esta misma tendencia, resaltando las cuencas de río Colorado, arroyo El Tapón, río Sonoyta, río Asunción, río Sonora y río Yaqui.

En la región Pacífico centro y sur se localizan 15 cuencas, resaltando, de norte a sur, Bolsón de Mapimí, río Presidio, río Acaponeta, río San Pedro, río Armería, Lerma-Chapala, lago de Cuitzeo, cuenca de México y río Papagayo.

En la región del Golfo de México y Mar Caribe sobresalen seis cuencas y la Isla de Cozumel. Cabe mencionar laguna Honda en Tamaulipas, río Bobos, río Prieto (en la región hidrológica del Papaloapan), río Chumpan, río Mamantel, así como río Hondo en la península de Yucatán.

Dentro de estas cuencas de atención prioritarias se localizan 19 Áreas Naturales Protegidas prioritarias: en Baja California, Reserva de la Biósfera del Alto Golfo de California y el Delta del río Colorado, Sierra de San Pedro Mártir, Valle de los Cirios, El Vizcaíno, Sierra La Laguna. En la región Pacífico de norte a sur, El Pinacate y Gran Desierto de Altar, Sierra de Ajos/Bavispe, Cajón del Diablo, Sierra de Alamos-río Cuchujaqui, Sierra de Quila, Sierra de Manantlán, Volcán Nevado de Colima y El Veladero. En la región centro, Nevado de Toluca, Ciénega de Lerma, Corredor Biológico Chichinautzin y Zoquiapan. En el Golfo de México y Mar Caribe, Los Tuxtlas, laguna de Términos y Calakmul.

IMPLICACIONES A NIVEL DE CUENCA HIDROGRÁFICA

En la república mexicana se identificaron 61 cuencas con un riesgo potencial bajo y que presentan una alta prioridad en cuanto a conservación de la biodiversidad, lo que implica que son sitios en buen estado y que

requerirían de un esfuerzo pequeño para su conservación desde el punto de vista ambiental. Estas se ubican principalmente en la zona centro de la península de Baja California y la zona Pacífico sur.

Se identifican 89 cuencas con un riesgo potencial alto y muy alto y que además presentan una alta prioridad en cuanto a conservación de la biodiversidad, por lo que representan focos rojos que requieren atención prioritaria. Aunado a esto, se identifican 34 cuencas donde pueden existir efectos potenciales para los seres humanos, que corresponden a zonas con mayor población, entre las que resaltan siete cuencas en Baja California Norte, ubicadas en el municipio de Mexicali y dos en Sonora, en el municipio de Hermosillo, así como en el lago Ojo del Diablo, en el municipio de Juárez.

En la región Pacífico se identificaron las cuencas de río Presidio, río Acaponeta y río San Pedro, en el municipio de Durango. Así como el río Papagayo y río La Sabana en el municipio de Acapulco de Juárez. En la región centro se identificaron las cuencas Lerma-Chapala, lago de Pátzcuaro, lago de Zirahuén, lago de Cuitzeo y la cuenca de México.

Debe considerarse además que estos centros urbano-industriales no son homogéneos y cuentan con una deficiente o nula planeación, lo que está provocando grandes cambios en el uso del suelo, especialmente en su periferia. Con ello se provoca una fragmentación de las áreas que los rodean (Aguilar, 2008) así como la modificación en la dinámica poblacional de las especies que ahí habitan. Esto propicia la aparición de ciertas enfermedades (emergentes) y antiguas enfermedades (re-emergentes) que ya habían sido controladas (Suzan *et al.*, 2009; Jansen *et al.*, 2009), lo que resulta un tema nuevo y relevante para futuras investigaciones.

En México, la dinámica del crecimiento urbano y las actividades económicas asociadas, sin la debida planeación, han conducido

al desarrollo de sistemas de ciudades y a la creación de grandes conglomerados que no consideran la unidad de la cuenca; estos factores son responsables de la condición de degradación ambiental y de las afectaciones a la población. Por ello, se sugiere revisar los modelos de desarrollo urbano-industriales considerando los aspectos ambientales y la demanda de recursos y servicios, así como la generación de residuos y desechos.

PROPUESTAS EN TÉRMINOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS Y DE INVESTIGACIÓN

Con base en un análisis cuantitativo basado en actividades productivas, zonas y grupos prioritarios para la conservación de la biodiversidad, así como el riesgo potencial a la población mexicana, se proponen las cuencas que deben ser atendidas de manera prioritaria. Esto debe llevarse a cabo bajo los lineamientos de los instrumentos legales existentes; algunos de los cuales deberían ser revisados y actualizados.

El actual enfoque de desarrollo económico ha generado impactos negativos sobre la biodiversidad y la salud humana que requieren ser considerados de forma integral. Esto es, reconocer que los efectos no son aditivos sino sinérgicos. Por lo tanto, su atención debe incluir la aplicación de análisis de sistemas complejos, apoyados en herramientas como son los sistemas computarizados con aplicaciones para análisis multicriterio. Éstos, aunados a análisis espaciales que proporcionan una visión más completa integrando aspectos numéricos y espaciales fundamentales para la priorización y toma de decisiones informada, pueden configurar un panorama más preciso para determinar las posibles soluciones. Dichos recursos de análisis permiten centrar los esfuerzos en conjunto con la sociedad, con el objetivo de lograr mejores condiciones de vida en México con una perspectiva de mediano y largo plazo.



FOTO: HELENA COTLER

CONTAMINACIÓN POTENCIAL DIFUSA POR ACTIVIDAD AGRÍCOLA

HELENA COTLER Y DANIEL IURA GONZÁLEZ

HASTA HACE ALGUNOS AÑOS, el foco principal de atención en relación con la contaminación de cursos de agua era la contaminación directa o puntual; sin embargo, en la actualidad existe una creciente preocupación por la contaminación difusa, principalmente desde parcelas agrícolas (Bechman *et al.*, 2008; Collins *et al.*, 2008; Hanson y Trout, 2001). La contaminación difusa puede ser definida como la introducción de contaminantes a un curso de agua superficial o sistema de agua subterráneo, a través de vías indirectas, como el lavado de contaminantes a través del suelo, o desde fuentes que no es posible establecer con exactitud en un lugar o sitio específico. La contaminación difusa puede ser continua o intermitente, siendo esta última la más común debido a que está relacionada con actividades estacionales propias de la agricultura, como la época de fertilización o de aplicación de pesticidas (Carpenter *et al.*, 1998).

La contaminación difusa resulta entonces de un efecto acumulativo que es producto de pequeños aportes individuales realizados desde sitios diversos, que terminan afectando

los cuerpos de agua de una cuenca hidrográfica, las aguas subterráneas y muchas veces también el área marina asociada. En los cuerpos de agua, el exceso de nutrientes —especialmente el nitrógeno y el fósforo— conduce a una degradación de la calidad del agua conocida como eutrofización, que se acompaña de un aumento de biomasa, la cual a su vez conlleva una mayor turbidez y escasez de oxígeno (hipoxia). Estos procesos generan una pérdida de hábitat con sus respectivas consecuencias en la biodiversidad (lo que repercute en la actividad pesquera).

Los principales cambios provocados en las aguas superficiales están relacionados con: (i) un incremento significativo en la concentración de nutrientes (especialmente nitrógeno y fósforo), que aceleran el proceso de eutrofización, (ii) presencia de residuos de plaguicidas adheridos a partículas sólidas, (iii) aumento significativo de la carga de sólidos en suspensión, que aumenta la turbidez del agua y (iv) reducción significativa del oxígeno disuelto, generando condiciones anóxicas.

La movilidad y la persistencia determinan la contaminación potencial de un pesticida. La movilidad se refiere a la facilidad de movimiento en el suelo y la persistencia a la vida

media del pesticida, o bien al tiempo requerido para que la mitad de la cantidad inicial del pesticida aplicado se degrade o se libere como CO₂. Los pesticidas aplicados a los suelos pueden lixiviarse debajo de la zona radicular y ser transportados hasta los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

La intensidad de la lixiviación de pesticidas y fertilizantes varía de una región a otra; sin embargo, la mayor vulnerabilidad ocurre en regiones con altas precipitaciones, en suelos principalmente arenosos y en sistemas agrícolas intensivos (Brady y Weil, 1999; Hanson y Trout, 2001; Ongley, 1997).

Siendo la contaminación difusa un proceso poco estudiado que altera el funcionamiento eco-hidrológico de las cuencas, se planteó elaborar un modelo a partir de los factores que explican el comportamiento de este proceso en todas las cuencas del país. Del Censo Agropecuario (INEGI, 2008) se obtuvieron las cantidades de pesticidas y fertilizantes utilizadas por cada municipio. A partir de ciertas premisas que determinan la vulnerabilidad a la contaminación difusa en el territorio, se construyó un modelo jerárquico multicriterio para inferir la contaminación potencial difusa ocasionada por la aplicación de agroquímicos

en las áreas agrícolas, el cual está compuesto de tres partes o submodelos (Figura 1):

- 1) INSUMOS CONTAMINANTES: se considera a los pesticidas y fertilizantes como principales insumos con potencial de alteración del ambiente.
- 2) CARACTERIZACIÓN DE LA AGRICULTURA: el área potencialmente afectada por estos insumos dependerá del porcentaje de área agrícola que se ubica en cada una de las cuencas. Se puntualizó la presencia de riego, ya que el exceso de agua incrementa la posibilidad de lixiviación de contaminantes desde la zona radicular.
- 3) MOVILIDAD DE CONTAMINANTES: el transporte de los contaminantes en las áreas agrícolas dependerá de la pendiente (a mayor pendiente hay más posibilidad de escorrentía), la textura del suelo (más gruesa puede provocar mayor movilidad) y precipitación (mayor precipitación implica más probabilidad de lavado de suelos).

METODOLOGÍA

Debido a que las unidades de medida de cada una de las variables que integran al modelo

CONTAMINACIÓN POTENCIAL DIFUSA POR AGROQUÍMICOS



son diferentes, fue necesario la estandarización de éstas con la finalidad de hacerlas comparables y determinar la importancia relativa de cada una con respecto al impacto en la contaminación potencial difusa en cada cuenca.

Se utilizó el método de ordenación simple (Gómez, 2006) para determinar la importancia relativa entre las clases de las variables categóricas (tipo de agricultura, pendiente y textura). Para las variables continuas (porcentaje de área agrícola en la cuenca, porcentaje de uso agrícola con uso de fertilizantes, porcentaje de uso agrícola con pesticidas, así como la precipitación media anual por cuenca). Se utilizó la función lineal entre valores máximos y mínimos como método de estandarización con la finalidad de hacerlas comparables.

La superposición espacial de los valores de cada una de las variables se realizó a través de la sumatoria lineal ponderada, la cual permite evaluar cada cuenca en función de la suma de

los valores de cada criterio en los diferentes niveles de la jerarquía. Formalmente:

$$Vi = \sum_j w_j x_{ij}$$

Donde V_i es el valor total de la alternativa (cuenca) i , w_j es el peso asignado al criterio j que refleja su importancia relativa con respecto a otro criterio y x_{ij} es el valor de la alternativa i para el criterio j (Belton, 1986).

Debido a que tres de las variables son espacialmente explícitas en la cuenca (tipo de agricultura, pendiente y textura) fue necesario hacer una agregación con la finalidad de obtener un solo valor final para cada cuenca. Esto se realizó sumando el resultado de la sumatoria lineal ponderada de todos los píxeles en una cuenca y dividiendo este resultado por la superficie de la cuenca, esto con la intención

de obtener un valor relativizado al tamaño de las cuencas de México.

Finalmente, para obtener un mapa clasificado de diferentes niveles de contaminación potencial difusa, los valores únicos por cuenca se clasificaron con base en el método de optimización de Jenks, el cual busca reducir la varianza entre los grupos y maximizar la varianza entre grupos (método de quiebres naturales).

Los valores más altos de contaminación potencial difusa expresan entonces el riesgo que estos contaminantes impacten al suelo y posteriormente a los cuerpos de agua.

Los valores muy altos de contaminación potencial difusa encontradas en las cuencas del Pacífico norte, centro del país y las cuencas que drenan al Golfo de México podrían estar reflejando la extensión agrícola, que abarca entre el 45-60% de la superficie de esas cuencas, de la cual 35-55% del territorio de cada cuenca utiliza fertilizante químico.

Por ejemplo, la contaminación en la cuenca Lerma-Chapala podría estar respondiendo a una gran extensión de tierras dedicadas a la agricultura, con alta utilización de insumos químicos en forma de fertilizantes (aplicados en 45-80% de su superficie agrícola) y de pesticidas (aplicados en más del 65% del área agrícola) (ver Mapa *Fertilizantes químicos y abonos naturales por cuenca* en el DVD adjunto).

Varias de las cuencas a lo largo del país con valores altos de contaminación difusa (como río Evora en Sinaloa, lago Bustillos en Chihuahua, lago Santa Ana en Durango, río Salado entre Veracruz y Puebla, el río Coatlán en Chiapas y la laguna Xmuchil en Campeche) presentan en su territorio una extensión agrícola menor, que abarca de 15-30% pero la aplicación de pesticidas abarca más del 65% de sus respectivas áreas agrícolas (ver Mapa *Pesticidas por cuenca* en DVD adjunto).

Figura 1. Modelo multicriterio jerárquico para evaluar contaminación difusa.

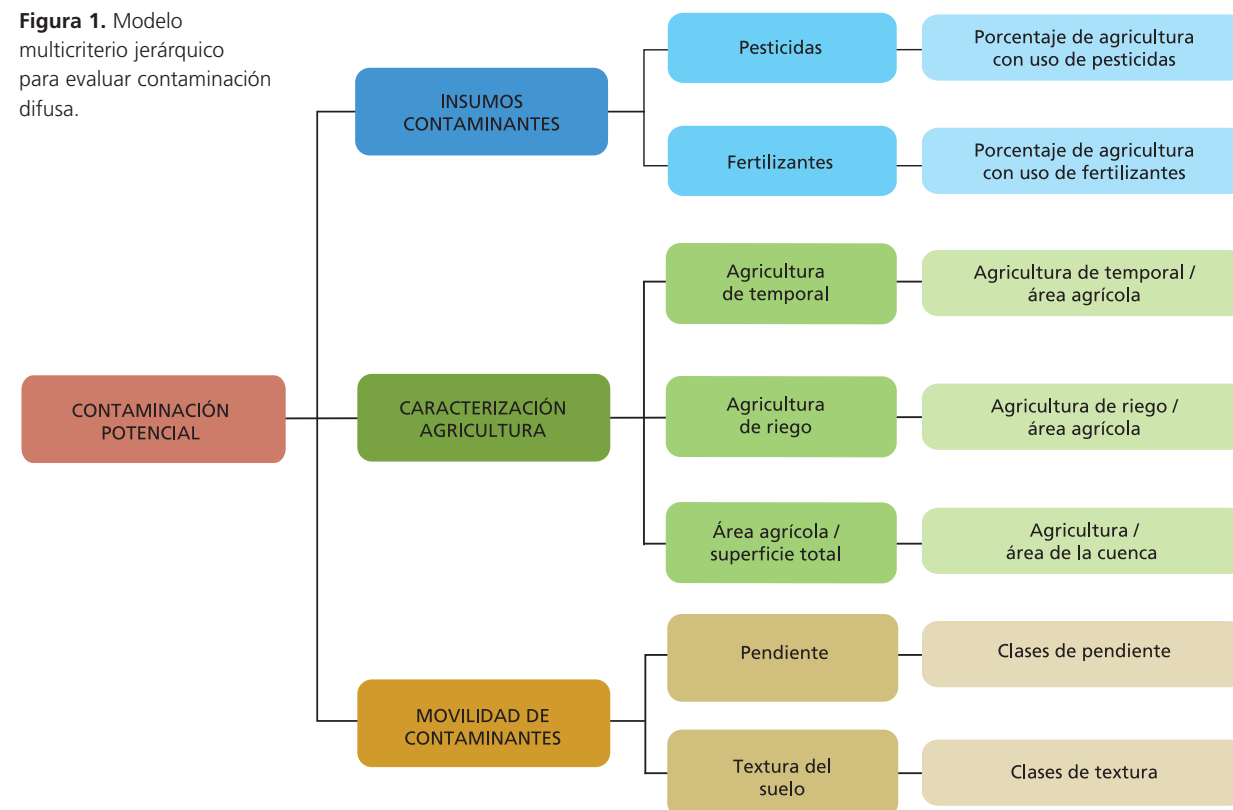


FOTO: HELENA COTLER

Es decir que, además de las variables contempladas en el modelo, la contaminación difusa por utilización de fertilizantes y pesticidas puede darse tanto en cuencas con amplias superficies agrícolas (mayores a 45%) consumidoras de fertilizantes y plaguicidas o bien en cuencas donde la superficie agrícola está más concentrada y es más intensiva (15-30%) pero con un alto consumo de agroquímicos.

La contaminación difusa en las cuencas ubicadas en las zonas áridas y semiáridas de México pueden estar siguiendo el mismo patrón de contaminación difusa que las cuencas ubicadas en estas mismas regiones en los Estados Unidos (Hanson y Trout, 2001), donde este proceso es resultado de un exceso de riego que incrementa la lixiviación de los contaminantes.

Aunque no se consideraron para este capítulo, es importante tener en cuenta que además de la agricultura, la ganadería (Véase capítulo *Riesgo potencial de las actividades del sector económico sobre la biodiversidad y la salud humana*) y la acuicultura también constituyen actividades que contribuyen a la contaminación potencial difusa (Ongley, 1997).

Como se dijo anteriormente, el clima (y en particular, la precipitación) constituye una de las variables que determina la movilidad de los contaminantes; aunque las relaciones entre el clima y la contaminación difusa son complejas. Por un lado, el incremento de inundaciones podría movilizar una mayor carga de sedimentos y contaminantes asociados, exacerbando impactos sobre ecosistemas acuáticos (Wilby *et al.*, 1997), mientras que por otro lado, las mayores sequías podrían reducir la dilución de los contaminantes, aumentando los problemas de toxicidad. Por ello, los cambios previstos para el clima tienen importantes implicaciones para las estrategias de manejo de la contaminación difusa.

Los impactos de la contaminación difusa no se restringen a las cuencas hidrográficas,

sino que impactan a las costas y a los cuerpos de agua dulce, salobre y marina. Como respuesta, algunos estudios realizados muestran los procesos de eutrofización en los sistemas costeros de Yucatán (Herrera-Silveiro *et al.*, 2004) y de hipoxia en zonas del Golfo de México (Rabalais, 2004) (ver también capítulo *Interacciones tierra-costa-mar* en este libro).

En el contexto de una cuenca es necesario considerar el amplio rango de sus paisajes para adoptar las prácticas de manejo más adecuadas que permitan disminuir el riesgo de contaminación difusa en sus cuerpos de agua. Todas las alternativas involucran modificaciones en los sistemas de cultivo, que van desde la selección de la época y dosis de fertilización, en función del clima y tipo de suelo; el aumento de la eficiencia de los sistemas de riego; el mejoramiento de las modalidades de control de plagas; el establecimiento de ciertas prácticas como franjas de protección o cultivos de cobertura; y la prohibición del uso de pesticidas por lo menos a 10 m de distancia de lagos y corrientes de agua (DEFRA, 2007). La elección de cualquiera de estas prácticas requiere de estudios puntuales que alimenten modelos apropiados para identificar aquellos procedimientos que disminuirían el potencial de contaminación difusa (DEFRA, 2007).

Durante mucho tiempo las consecuencias de la contaminación difusa pasaron desapercibidas; hoy en día, la intensidad de las actividades humanas y el efecto acumulativo de los contaminantes en los ríos y cuerpos de agua han tomado tales proporciones que ponen en riesgo la salud de los ecosistemas, la salud humana y las actividades productivas en áreas terrestres y marinas muy extensas. Recién en décadas pasadas, algunos países de la Unión Europea y Estados Unidos comenzaron a establecer políticas para enfrentar este fenómeno (Collins y McGonigle, 2008; DEFRA, 2007), con costos que han llegado a alcanzar los 597 millones de dólares (Secchi *et al.*, 2007).



FOTO: ALVARO FIGUEROA

SEDIMENTACIÓN POTENCIAL DE PRESAS

HELENA COTLER Y DANIEL IURA GONZÁLEZ

ANIVEL INTERNACIONAL, las presas se están azolvando a una tasa aproximada de 1% al año (WCD, 2000); esto implica que para mediados del siglo XXI el almacenamiento mundial de agua sería la mitad del actual. Esto tendría importantes repercusiones a nivel económico y ambiental (de Vente *et al.*, 2005).

La sedimentación de los cuerpos de agua tiene un alto costo ambiental y social. Está asociada con el deterioro de los ríos, el disturbio de los hábitats acuáticos, la disminución de la capacidad de almacenamiento, los costos directos relacionados con el dragado de las presas y con la pérdida de pesquerías (Nearing *et al.*, 2000; Mc Cully, 2001). Además, los sedimentos representan un factor decisivo para el transporte y el destino de nutrientes (Ritter y Bergstrom, 2001), elementos traza, metales pesados (Miller, 1997) y patógenos (Jamieson *et al.*, 2005). La estrecha relación entre sedimentos y aporte de nutrientes y contaminantes explica la importancia de la sedimentación en el proceso de contaminación difusa (Collins y Anthony,

2008). Por estas razones, se considera la sedimentación como el problema técnico más serio que enfrentan las presas (Mc Cully, 2001:107).

El proceso de sedimentación ocurre principalmente por acarreo y transporte de las partículas mediante el flujo de agua, es decir que está estrechamente ligada al proceso de erosión hídrica de suelos, que incluye el desprendimiento de partículas y su subsecuente transporte y depósito a lo largo de laderas.

La utilidad de relacionar el proceso de sedimentación con la cuenca reside en que en este territorio es posible la identificación de las principales fuentes, almacenes y vías de transferencia y por lo tanto la evaluación de su susceptibilidad a las perturbaciones antrópicas.

México cuenta con más de 4,000 presas, las que en su conjunto presentan una capacidad de almacenamiento de 150 mil millones de m³ (CNA, 2008). El 70% de esta capacidad de almacenamiento se concentra en 52 presas, distribuidas a lo largo del país, cuyo destino principal es la generación de energía (54%), la irrigación (36%) y el uso público (10%) (CNA, 2008).

Tradicionalmente, la evaluación de la sedimentación de presas se ha realizado a partir de modelos que consideran variables relacionadas con la erosión hídrica, la topografía, el uso del suelo y la intensidad de lluvias (de Vente *et al.*, 2005 y 2008; Nearing *et al.*, 2000).

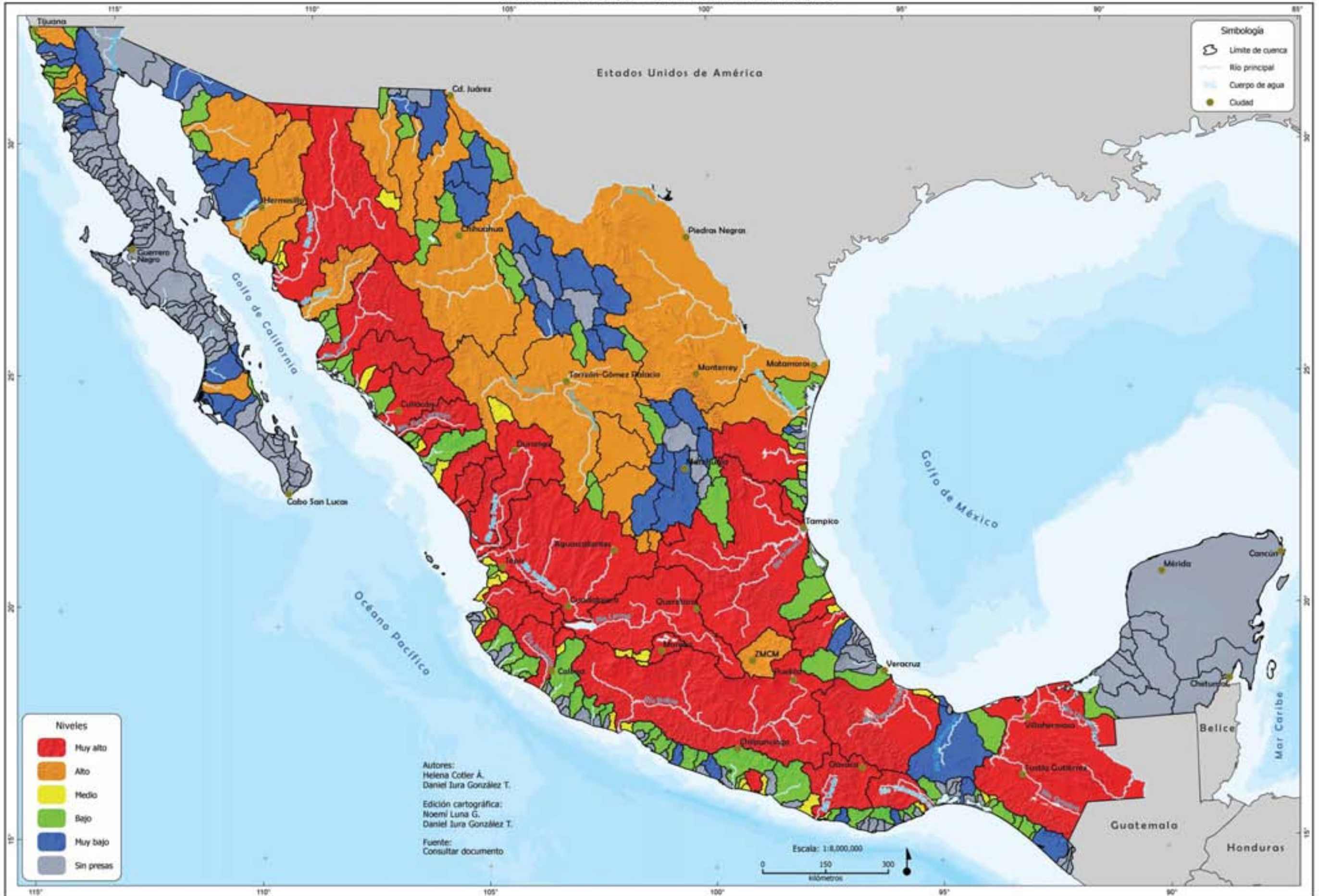
Para la presente evaluación de la sedimentación potencial de presas se consideraron los siguientes submodelos:

- 1) **PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS:** se considera a la erosión hídrica (cárcavas y surcos con diferentes grados de intensidad y extensión), como principal factor para la provisión de sedimentos al sistema; así como la erosividad de la lluvia.¹
- 2) **TRANSPORTE DE SEDIMENTOS:** en las laderas, los sedimentos pueden ser retenidos, almacenados y movilizados a corto o largo plazo. La mayor densidad de las redes de drenaje permitiría evacuar más rápidamente los sedimentos. Este movimiento es acelerado por la precipitación, en términos de la energía con la cual las gotas de agua rompen la estructura del suelo y arrastran partículas pendiente abajo.

- 3) **SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRITORIO ALREDEDOR DE LAS PRESAS:** las condiciones de pendiente y uso de suelo (y cambio de vegetación y uso de suelo-CVUS) alrededor de las presas puede influir en el aporte de sedimentos a estos cuerpos de agua.

En cada submodelo, las variables fueron ordenadas en grupos y sub-grupos con base en la identificación de los principales factores que intervienen en los procesos de sedimentación del territorio, siguiendo la lógica del análisis jerárquico (Saaty, 1980), con el objetivo de expresar el impacto relativo de cada una de las variables escogidas y evaluar la sedimentación potencial de presas en las cuencas de México. Una vez establecido el árbol jerárquico de variables, fue necesario aplicar métodos de estandarización simple con la finalidad de compararlas entre sí. Para las variables continuas se utilizó la función lineal entre valores máximos y mínimos como método de estandarización. Para las variables categóricas se usó el método de ordenación simple (Gómez, 2006) con el fin de transformar las clases en

SEDIMENTACIÓN POTENCIAL DE PRESAS



valores de 0 a 1 con base en el impacto de cada clase en la sedimentación potencial de las presas. La agregación de las variables en las cuencas se hizo bajo las premisas del análisis multicriterio (Malczewski, 1999). Se ponderaron todas las variables (ver Figura 1) del mismo nivel jerárquico y del mismo grupo, usando el algoritmo de ordenación simple antes mencionado, para determinar el impacto relativo de cada una de éstas en la sedimentación

potencial de presas. La superposición espacial de los valores de cada una de las variables se realizó a través de la sumatoria lineal ponderada, la cual permite evaluar cada cuenca en función de la suma de los valores ponderados de cada criterio en los diferentes niveles de la jerarquía (Belton, 1986). Los cálculos de agregación se realizaron en el módulo de análisis espacial multicriterio del software ILWIS 3.4. Finalmente los valores de la

agregación final se clasificaron según el método de Jenks, que busca reducir la varianza entre los grupos.

Los valores más altos de sedimentación potencial de las presas a nivel de cuencas expresa el riesgo de estos cuerpos de agua de sufrir un mayor azolve y deterioro. También expresa la alteración de la dinámica de algunos componentes (suelo y vegetación) de la cuenca.

El Mapa adjunto presenta la distribución de la clasificación final de la sedimentación potencial de las presas en el territorio mexicano (los resultados de los sub-modelos se encuentran en la versión digital).

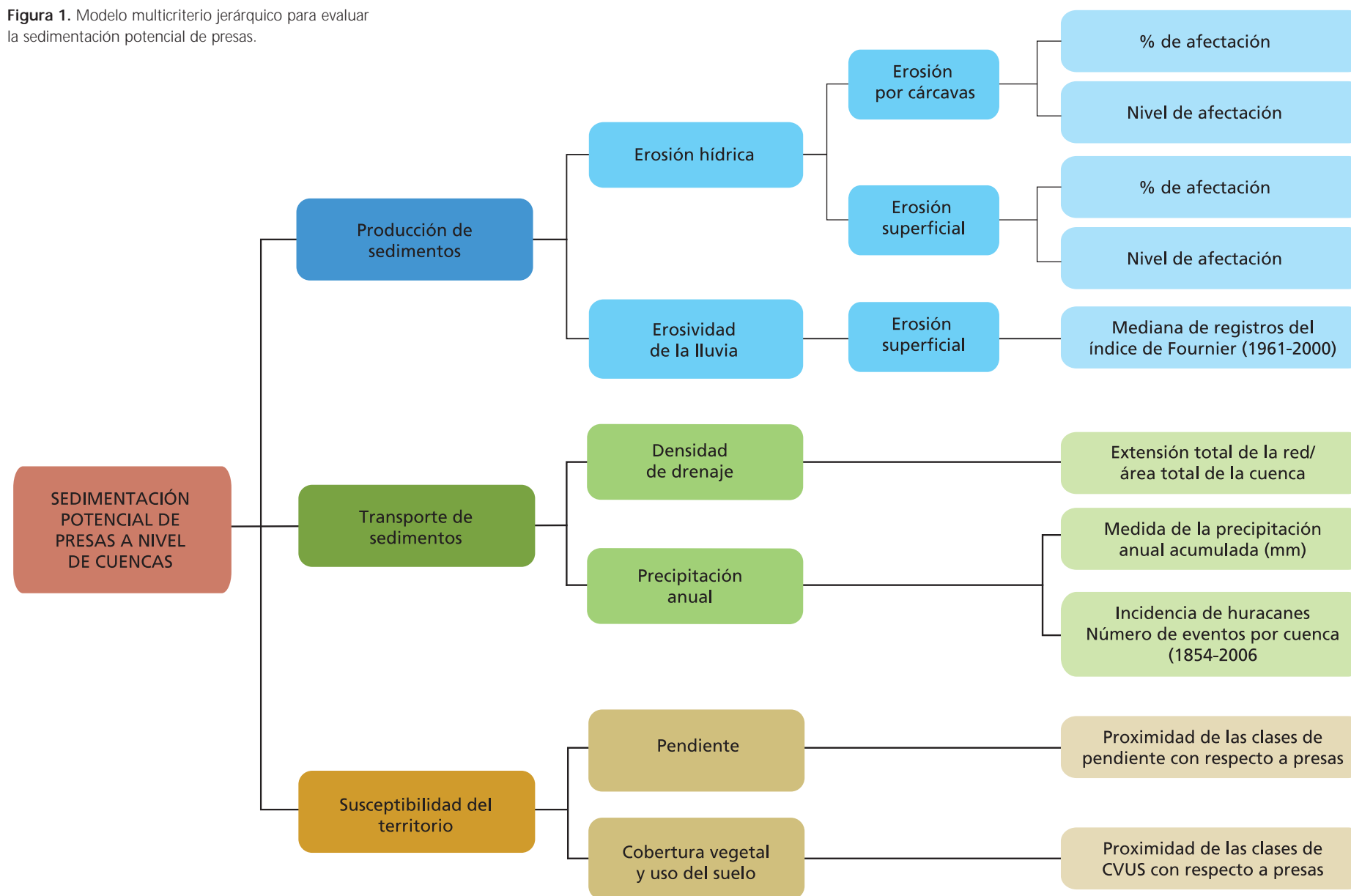
Más del 13% de las cuencas en México presentan un muy alto a alto potencial de sedimentación (Figura 2). Entre ellas sobresalen aquellas cuencas cuyos potenciales de producción de sedimentos, transporte y susceptibilidad del territorio son muy altos, como las cuencas centrales (Lerma-Chapala, Santiago, Balsas, así como Pánuco y Soto La Marina), mientras que las cuencas de Sinaloa, Culiacán y Evora alcanzan este nivel debido a las variables que determinan la susceptibilidad del territorio o la producción de sedimentos, como el río Yaqui; y en Grijalva-Usumacinta las variables que determinan el transporte de sedimentos son las más críticas (Figura 1).

En el otro extremo, más del 30% de las cuencas presentan una sedimentación potencial baja a muy baja, que se refleja de manera consecuente con los resultados de los tres sub-modelos. Varias de estas cuencas se ubican en la región centro-norte del país, y su escasa precipitación disminuiría los riesgos de producción y transporte hídrico de sedimentos; sin embargo, hay que recordar que la energía del viento también contribuye a la generación y transporte de sedimentos, aunque este proceso no fue evaluado en este modelo.

El alto costo económico, social y ambiental que generan las presas amerita conservar las condiciones del territorio que aseguren el funcionamiento y la vida útil inicialmente planeadas.

Debido al impacto ambiental y social que las presas generan, éstas deben ser consideradas como un actor importante en el contexto del manejo de cuencas, con una fuerte dependencia del mantenimiento de los ecosistemas cuenca arriba y como generadoras de externalidades para ecosistemas y socie-

Figura 1. Modelo multicriterio jerárquico para evaluar la sedimentación potencial de presas.



dades cuenca abajo. Como comentan Toledo y Bozada, 2002: “los beneficios, los costos y los riesgos ambientales de nuestros megaproyectos modernizadores se han transferido de un modo desigual hacia los diferentes sectores de nuestra sociedad”.

Bajo el contexto de cuencas, la captura de sedimentos en las presas tiene dos lecturas. Por un lado, aminora la vida útil de las presas y con ello, los beneficios que podrían estar otorgando a ciertas poblaciones, en detrimento de otros sectores y ecosistemas afectados. Por otro lado, la captura de sedimentos en estas obras hidráulicas reduce la carga de sedimentos que transportan los ríos, alterando sus hábitats (ver capítulo *Alteración ecohidrológica*) y disminuyendo el aporte y enriquecimiento de los deltas (WCD, 2000). Por ejemplo, en el delta del río Balsas, la reduc-

ción del aporte de sedimentos gruesos causada por las obras hidráulicas, ha provocado la migración de la playa tierra adentro, con un retroceso promedio de 13 m al año entre 1958 y 1979 (Toledo y Bozada, 2002). El deterioro de los deltas, por reducción de aporte de sedimentos, incrementa la vulnerabilidad de las zonas costeras ante las condiciones del cambio climático (Day *et al.*, 1997). Por ello, el balance de sedimentos (*sediment budget*) constituye un indicador útil para evaluar la respuesta de las costas ante el cambio climático (Cowell *et al.*, 2006).

¹ La erosividad de la lluvia fue calculada mediante el Índice de Fournier, que evalúa la concentración de la lluvia durante un año, mediante la ecuación: $\frac{p^2}{P}$ donde p = precipitación más alta en un mes y P = precipitación anual.

Figura 2. Clasificación de sedimentación potencial de presas por cuencas hidrográficas.

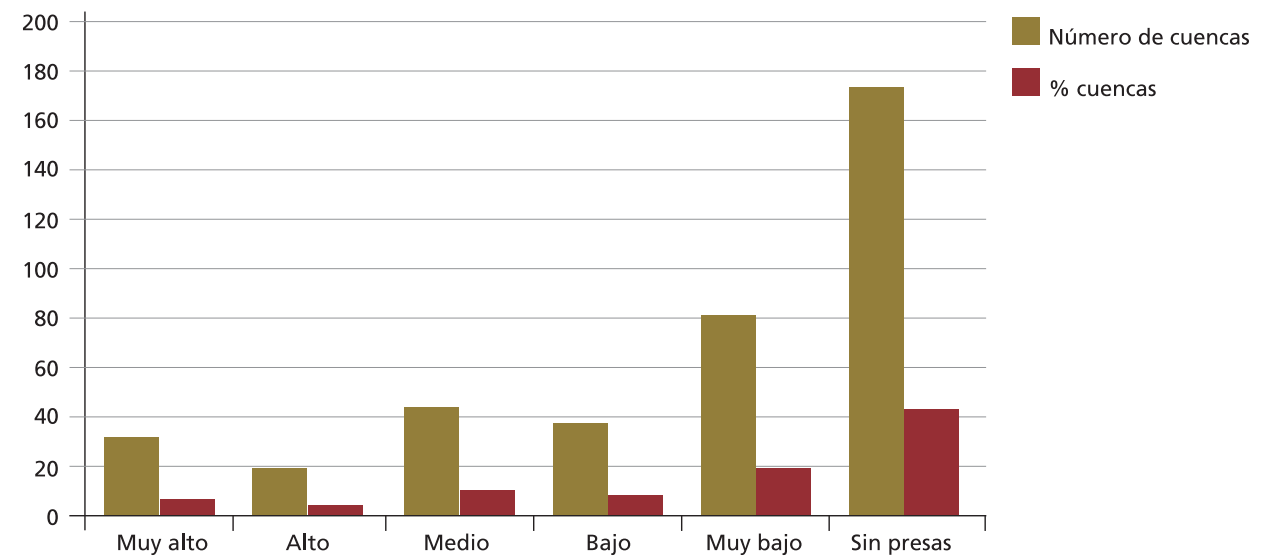


FOTO: HELENA COTLER

MORTALIDAD POR ENFERMEDADES DIARREICAS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

HORACIO RIOJAS RODRÍGUEZ, MAGALI HURTADO DÍAZ, ALDO CASTAÑEDA MARTÍNEZ, RENÉ SANTOS LUNA Y JUAN EUGENIO HERNÁNDEZ ÁVILA

ANTECEDENTES

LA CARENCIA DE AGUA, de saneamiento básico y el inadecuado manejo de aguas residuales son factores determinantes en la incidencia de enfermedades de origen hídrico, entre las cuales las más comunes son las enfermedades infecciosas intestinales (de Abreu Azevedo, 2005; Medina, 1995).

A nivel mundial ocurren 4 mil 620 millones de episodios de enfermedades diarreicas cada año, de los cuales el 90% ocurren en países en vías de desarrollo, constituyendo la 5ª causa de mortalidad (OMS, 2004). En México, las enfermedades infecciosas intestinales se encuentran entre las primeras 20 causas de mortalidad general, es la cuarta causa de mortalidad infantil (SINAIS, 2005) y ocupa el segundo lugar dentro de las principales causas de enfermedad, tanto en la población general, como en los menores de cinco años (SSA, 2009).

En 1984, con la finalidad de reducir las 26,000 muertes anuales que se presentaban en niños menores de cinco años, se inició en México el Programa Nacional para el Control de las Diarreas, y con el apoyo de otras inter-

venciones en salud pública como el Programa de Vacunación Universal (1991), Programa Agua Limpia (1991) y las Semanas Nacionales de Salud (1993), para el 2005 se registraron 1,828 casos, es decir 93% menos que desde el inicio del programa.

Sin embargo, a pesar de la gran disminución de la mortalidad por diarreas, todavía se tienen alrededor de 1,000 muertes al año en niños menores de cinco años, lo cual se podría prevenir con la mejora de las condiciones sanitarias y el acceso a los servicios de salud.

FACTORES ASOCIADOS A LA DIARREA

Las condiciones ambientales han demostrado estar relacionadas con las enfermedades infecciosas intestinales, principalmente en niños menores de cinco años (Timaheus, 1995). Existen estudios que han asociado la falta de agua o el acceso limitado de agua potable con una alta incidencia de diarrea en niños de cinco años y menos, en África Sub-Sahariana (Boadi, 2005).

Otros estudios han encontrado una asociación significativa entre la posición socioeconómica y la diarrea en los niños menores de

cinco años. Así, se ha encontrado en países de América Latina que niños que viven en hogares pobres tienen mayores tasas de incidencia de diarrea, que aquellos que viven en hogares más ricos (Hatt, 2005).

También existen estudios donde la unidad de análisis es una región geográfica. En Egipto, se diferenció el riesgo de diarreas por regiones urbanas y rurales, encontrando tasas de prevalencia significativamente mayores en niños que viven en regiones rurales, que en niños que viven en centros urbanos (Gilany, 2005). En África se evaluó en una cuenca hidrográfica los factores geográficos y sociales como determinantes de la prevalencia de las enfermedades diarreicas, mostrando que el acceso al agua potable por sí solo no logra reducir la prevalencia de diarreas si no se consideran medidas complementarias en el ámbito social (Pande, 2008).

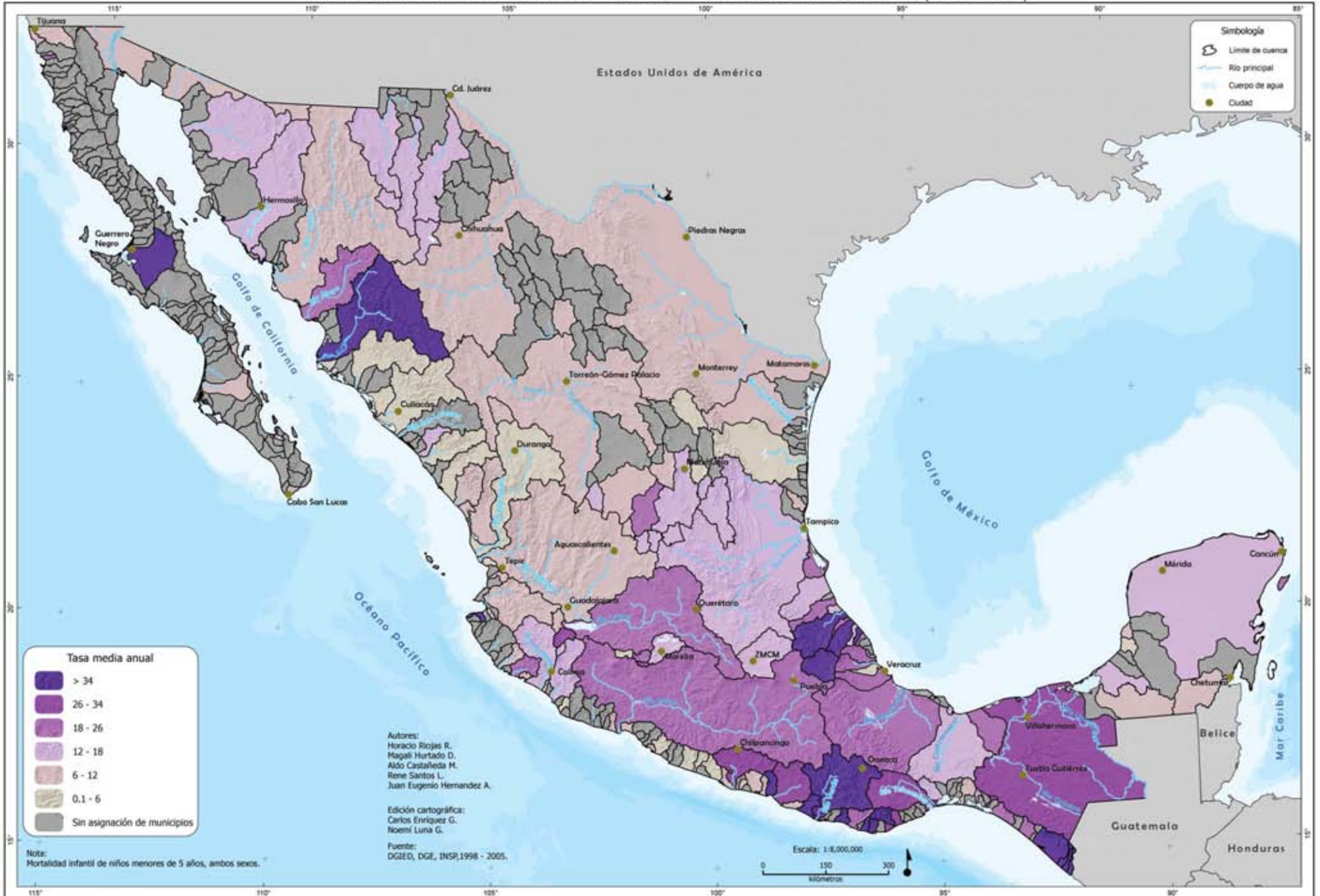
Para mejorar las condiciones de salud, los tomadores de decisiones deberían contar con información que analice por cuenca hidrográfica tanto el acceso al agua de buena calidad (por ejemplo en relación a la perforación de pozos) como aspectos socioeconómicos (sanea-

miento básico de las viviendas). Por ello es necesario un diagnóstico para conocer la tasa de mortalidad por enfermedad infecciosa intestinal por cuenca hidrográfica, tanto en toda la población mexicana, como en los niños menores de cinco años, considerada la población más vulnerable a este padecimiento.

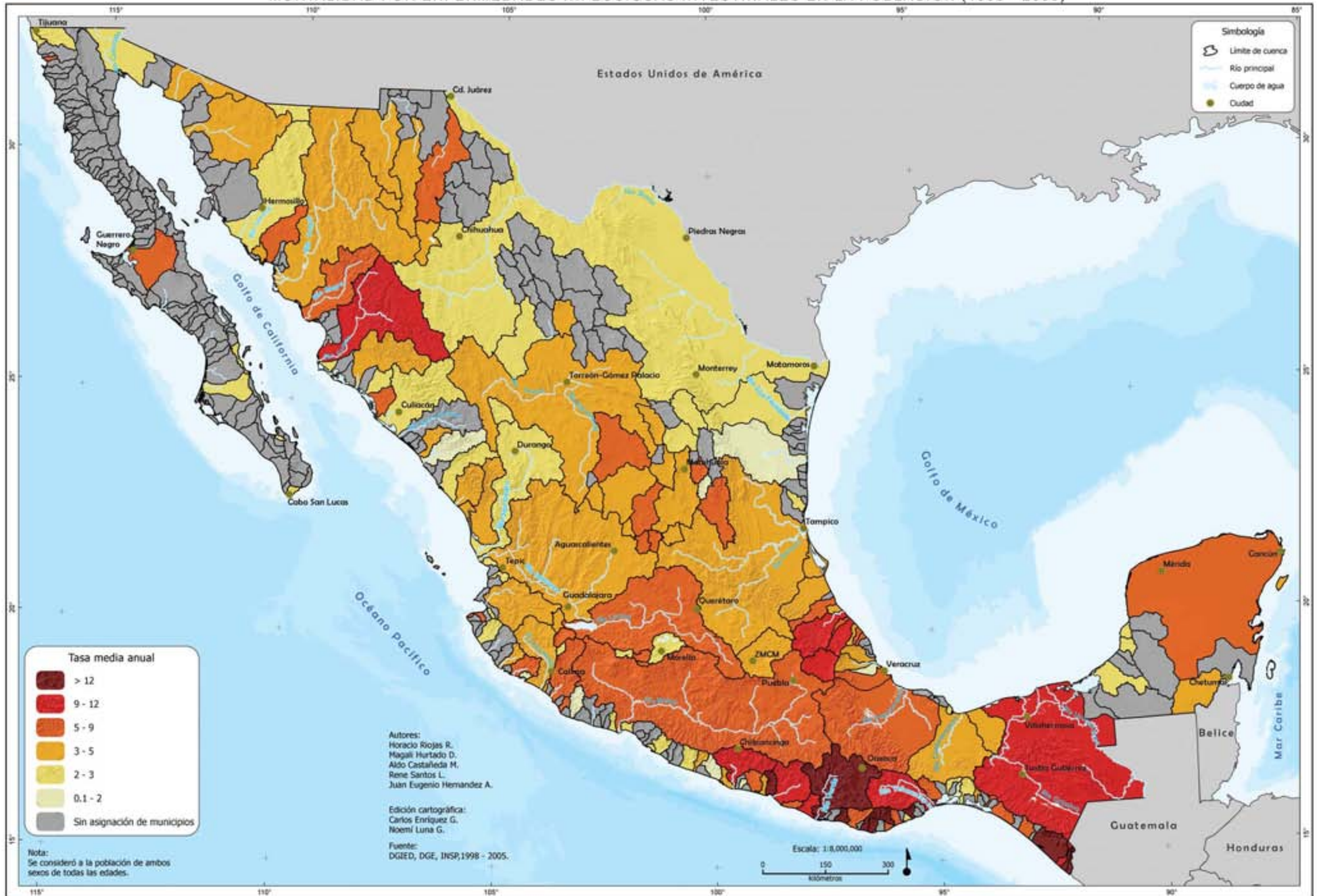
Para obtener la tasa de mortalidad por enfermedades infecciosas intestinales (EII) a nivel municipal, se utilizaron datos del año 1998 al 2005 generados por la Dirección General de Estadística del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Las causas de mortalidad seleccionadas fueron las enfermedades infecciosas intestinales (A00 al A09 del Código Internacional de Enfermedades en su 10ª revisión, CIE10), para todas las edades y para los menores de cinco años.

Se calculó el promedio de casos anual para ambos grupos de edad por municipio, en el periodo de 1998 al 2005, y se utilizó la población proyectada para cada año para calcular las tasas de mortalidad anual. Se asignaron a las cuencas hidrográficas las tasas de mortalidad media anual de EII por municipio, defi-

MORTALIDAD INFANTIL POR ENFERMEDADES INFECCIOSAS INTESTINALES (1998 - 2005)



MORTALIDAD POR ENFERMEDADES INFECCIOSAS INTESTINALES EN LA POBLACIÓN (1998 - 2005)



niéndose como “el promedio anual de defunciones” por EII de 1998 al 2005 en los municipios asignados a cada cuenca hidrográfica por cada 100,000 habitantes.

PRINCIPALES RESULTADOS

La tasa media anual de mortalidad por EII para todo el país y todos los grupos de edad fue de 4.9 por cada 100,000 habitantes. Las tasas más altas pertenecen a las cuencas río Fuerte, en Sinaloa, así como las cuencas ubicadas en la costa de Guerrero, como río Papagayo y río Quetzala; en la costa de Chiapas, como Huehuetán, Suchiate, Cohoacán y en la costa de Oaxaca, como Manialtepec, Copalita, Tonameca y río Verde Norte. En las costa del Golfo resaltan las cuencas de Tecolutla y río Bobos y la cuenca del río Grijalva-Usumacinta. Todas ellas tienen tasas superiores a 10 casos por cada 100,000 habitantes, es decir, el doble de casos que la tasa nacional. Estas cuencas tienen como similitud que concentran poblaciones con un alto grado de marginación y además que sus aguas son expulsadas hacia el mar (Mapa 2).

Cuando se hace el análisis en los niños menores de cinco años, la tasa de mortalidad media del periodo de estudio fue de 17.4 por cada 100,000 habitantes para todo el país. En este caso, también resaltan las cuencas antes mencionadas junto con la cuenca Salinas Guerrero Negro, en Baja California y lago Sayula en Jalisco, todas ellas con tasas superiores a 35 muertes por enfermedad diarreica por cada 100,000 niños menores de cinco años (Mapa 2).

Como se aprecia, las tasas de mortalidad de EII, tanto para la población general como en los niños menores de cinco años, son más altas en las cuencas cuyos municipios tienen alto y muy alto rezago social, según el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, y la mayoría de ellas se ubican en zonas costeras cálidas. Estas cuencas representan municipios de Chiapas, Oaxaca,

Guerrero, Veracruz y Puebla con el 50% de su población en situación de pobreza, con deficiencias en el saneamiento ambiental, abastecimiento de agua potable y servicios públicos.

También se pueden encontrar municipios de estados como Tabasco y Campeche, que a pesar de que tienen un grado de rezago bajo y muy bajo, se han visto afectados por inundaciones provocadas por fenómenos hidro-meteorológicos. Un porcentaje menor de municipios con mejores condiciones socio-económicas, como es el caso de los que se ubican en las cuencas río Fuerte, río Salado, río Tecolutla, río El Tuito y Salinas Guerrero Negro, también tienen una tasa de mortalidad por EII de las más altas, y la mayoría de estos pertenecen al norte del país.

Existen estudios que han identificado la influencia de factores sociales, económicos y nutricionales sobre la mortalidad de enfermedades diarreicas agudas, principalmente en los niños menores de cinco años. Esto se explica en parte porque la falta de agua para uso y consumo humano da lugar a condiciones anti-higiénicas, lo cual repercute en la salud de las poblaciones, o porque la mayoría de las comunidades pobres viven en zonas rurales y dependen de la agricultura para su subsistencia y no hacen distinción del agua utilizada.

Utilizar indicadores de salud, como parte de la dinámica social que existe alrededor de un sistema ambiental, como es el caso de las cuencas, ayuda a entender que las carencias sociales son el factor más relevante para determinar la ocurrencia de enfermedades relacionadas con el agua. Por ello, la tasa de mortalidad de enfermedad infecciosa intestinal por cuenca hidrográfica es un indicador de salud ambiental, que puede ser utilizado para evaluar el impacto en la salud de los sistemas de abastecimiento de agua, del mejoramiento del servicio de alcantarillado y de otras intervenciones de saneamiento básico, es decir, como resultado de la gestión integral de las cuencas.



FOTO: ALVARO FIGUEROA

VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN FRENTE A INUNDACIONES E INESTABILIDAD DE LADERAS

FERNANDO SAAVEDRA

LA PERSPECTIVA DE ANÁLISIS

LA VULNERABILIDAD se refiere a situaciones asociadas a fenómenos naturales hidrometeorológicos¹ que pueden poner en riesgo a la población. La perspectiva frente a estos fenómenos es que constituyen una amenaza (peligro)² para la población que reside en las áreas sometidas a dichos acontecimientos, y por lo tanto está expuesta a ellos. El nivel de afectación depende del nivel de vulnerabilidad que tenga dicha población en el momento del evento en cuestión. Así, la población residente en áreas susceptibles de inundación está en un relativo riesgo permanente, pero las consecuencias de ello durante el evento (el paso de amenaza a concreción) dependerán del nivel de vulnerabilidad de esta población, determinado por sus características diferenciales en términos socioeconómicos, demográficos y organizativos —entre otros— que permitirían cierto grado de reacción, respuesta, recuperación y prevención.

La vulnerabilidad es “entendida como debilidad frente a las amenazas (o ausencia de lo que los ecólogos denominan capacidad de resistencia) y como incapacidad de recupera-

ción después de que ha ocurrido un desastre (o falta de *capacidad de resiliencia*, de *elasticidad*), y no sólo depende de la vecindad física de las poblaciones a las fuentes de amenazas, sino de otros múltiples factores de distinta índole, todos presentes en las comunidades. Por eso hablamos de la existencia de una vulnerabilidad global” (Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 2007).

El objetivo de esta sección es construir un índice que permita asignar niveles de vulnerabilidad de la población que reside en las áreas susceptibles de inundaciones y en las áreas con inestabilidad de laderas en las cuencas hidrográficas, con la finalidad de apoyar el diseño y mejoramiento de la política ambiental.

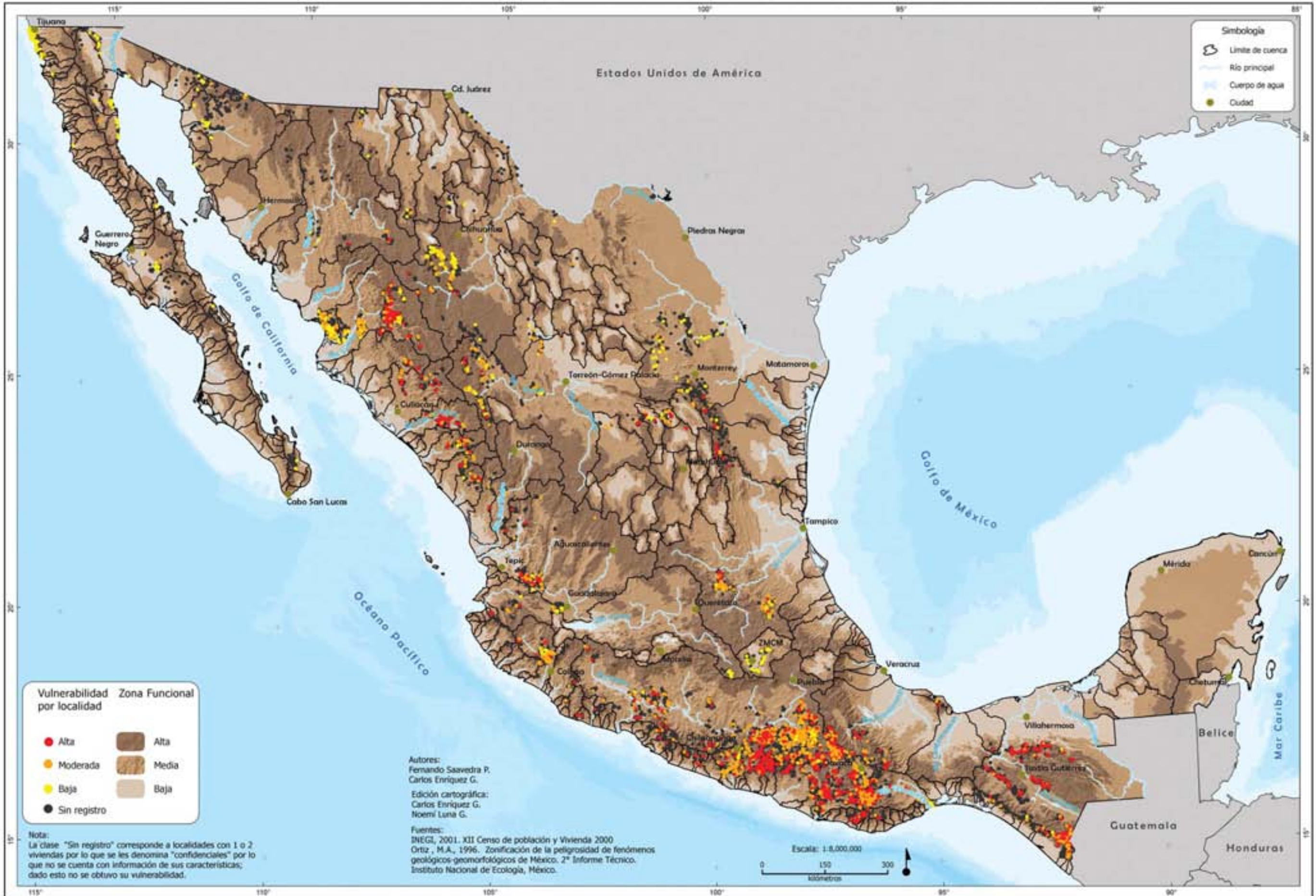
VARIABLES CONSIDERADAS PARA CONSTRUIR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Entre los factores que estarían involucrados en definir una cierta vulnerabilidad de la población frente a una amenaza, es posible contar con cierta información a nivel de localidad



FOTO: HELENA COTLER

VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN FRENTE A FENÓMENOS DE INESTABILIDAD DE LADERAS



que de manera indirecta puede incidir en su vulnerabilidad, puesto que ésta es multicausal. Para ello se seleccionaron algunas variables referidas a las condiciones materiales de las viviendas que habitan (tipo de muros y piso), contar con agua, drenaje, bienes de comunicación (TV, radio, teléfono) y otras referidas a los individuos como son edad, educación, derechohabencia e ingresos (Cuadro 1). Los materiales de la vivienda indican la precariedad o no de la misma, al igual que el acceso al agua y drenaje, ya que no solamente pueden ser menos frágiles frente a los eventos considerados, sino que reflejan las condiciones del contexto de la localidad —la posibilidad de contar con instituciones encargadas de los servicios de agua y drenaje por ejemplo— así como un cierto nivel socioeconómico que diferencia a la población según las posibilidades de enfrentar, reaccionar, recuperarse y prevenir tales situaciones.

Por su parte, el contar con medios de información y comunicación en la vivienda (TV,

radio, teléfono) permite, aunque sea potencialmente, estar informado y así prevenido, lo cual facilitaría la reacción y la posible recuperación en un tiempo menor que aquellos que no cuentan con estos medios.

La educación, acceso a la salud y la relación de dependencia (menores de seis años y mayores de 70 respecto a la población de siete a 69 años), serían factores individuales pero que traducen las diferentes capacidades que existirían en los hogares para poder enfrentar y recuperarse de los posibles daños causados por las inundaciones o las consecuencias de la inestabilidad de las laderas en las cuales se ubican ciertas localidades.

Las particularidades de cada localidad se conjugan con las especificidades de las viviendas y familias, por lo que los supuestos anteriormente señalados requieren ser interpretados en tal sentido. A manera de ejemplo podemos suponer que una vivienda de material sólido, con servicios de agua y drenaje conectados a red pública puede no ser consi-

derada frágil frente a una inundación por el desborde de un río cuya corriente choca con dicha vivienda y ésta resiste, pero sufre daños cuya recuperación puede ser más cara, lenta y difícil respecto a las viviendas más precarias. En estas últimas, la población puede ser desalojada debido a su destrucción parcial o total, pero dada su precariedad y su carencia de servicios, pueden ser reconstruidas con menor costo y más rápidamente si cuentan con el apoyo económico necesario, factor que sería menos importante para las primeras familias dado el supuesto de que cuentan con un mayor acceso a fuentes de financiamiento.

METODOLOGÍA

Para la obtención del Índice de Vulnerabilidad de la población que reside en áreas susceptibles de inundación o con inestabilidad de laderas se utilizó el método de Componentes Principales.

Posteriormente, para diferenciar tres grados de vulnerabilidad: elevada, moderada y escasa vulnerabilidad se utilizó el método de estratificación de Dalenius y Hodges, que permite minimizar la varianza del estimador.

En el Censo de Población y Vivienda del año 2000 se registraron 198,854 localidades donde residían 97 millones 483 mil habitantes. La población que estaba en riesgo por residir en áreas susceptibles de inundación era el 24.6% del total nacional (24.6 millones), y la residente en áreas con inestabilidad de laderas el 5.2 por ciento (5.2 millones, Cuadro 2).

Llama la atención que un cuarto de la población mexicana esté en una situación de peligro relativo puesto que reside en áreas susceptibles de inundación en poco más de 24 mil

CUADRO 2. LOCALIDADES, VIVIENDAS Y POBLACIÓN QUE RESIDE EN ÁREAS SUSCEPTIBLES DE INUNDACIÓN O CON INESTABILIDAD DE LADERAS

Áreas	Nº de Localidades	Nº de Viviendas	Población	Con información de la Población*
Inestabilidad de laderas	6,105	1,225,755	5,211,366	5,059,474
Inundación	24,155	5,798,676	24,655,613	24,026,132
Total	30,260	7,024,431	29,866,979	29,085,606

*La diferencia corresponde a la población residente en localidades confidenciales (menores de tres viviendas).

localidades (12.1% del total de localidades del país). De las localidades de tres y más viviendas situadas en áreas de inundación (9,241 localidades) el 96.7% son menores de 5 mil habitantes, donde reside el 15.6% de la población en riesgo de inundación; en otras 264 localidades de 5 mil a menos de 15 mil habitantes reside 18.6% de la población, y en 35 localidades mayores de 100 mil habitantes habita el 65.8% de la población en riesgo de inundación (Cuadro 3).

En cuanto a la población que está en riesgo por residir en áreas con inestabilidad de laderas, el 15.9% habita en 3,060 localidades menores de 5 mil habitantes, 5.2% en 16 localidades de 5 mil a menos de 15 mil habitantes, y 78.8% de la población en 7 localidades de 100 mil y más habitantes (Cuadro 4).

Se puede observar que en ambas situaciones la mayoría de la población en riesgo reside en ciudades de 100 mil habitantes y más, por lo cual es importante identificar las cuencas hidrográficas y la zona funcional de las mismas en donde se localizan las ciudades que concentran la mayoría de la población en riesgo de inundación, por un lado, y amenazada por deslizamientos de tierras, por otro.

Como se mencionó anteriormente, si bien toda la población residente en áreas susceptibles de inundación o de deslizamientos de tierra se encuentra en riesgo por residir en zonas expuestas a tales peligros, no toda tiene la misma vulnerabilidad (capacidad de resisten-

CUADRO 1. VARIABLES PARA CONSTRUIR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FRENTE A INUNDACIONES Y/O INESTABILIDAD DE LADERAS³ EN EL NIVEL LOCALIDAD

DIMENSIÓN	INDICADOR	PARÁMETRO (variables)	ESCALA	ENFOQUE
Económica	Ingresos	Ingreso per cápita: población que recibe hasta 1 salario mínimo; y población que recibe de 1 a 3 salarios mínimos mensuales	Localidad	Fragilidad
Social	Composición sociodemográfica	Cantidad de población expuesta	Localidad	Exposición
		Dependencia infancia y vejez (población menor de 6 años y mayor de 70 años).	Localidad	Exposición Resiliencia
	Nivel de escolaridad	Nivel de escolaridad: población sin primaria y población analfabeta	Localidad	Fragilidad Resiliencia
	Acceso a salud	Población derechohabiente	Localidad	Resiliencia
Conectividad	Comunicaciones	Medios existentes en la vivienda: tv, radio, teléfono	Localidad	Resiliencia
Físicas	Condiciones materiales de la vivienda	Materiales predominantes en la vivienda: piso, muros	Localidad	Exposición
		Conexión a servicios públicos: agua, drenaje	Localidad	Exposición

Tamaños de Localidad	Número localidades	Promedio de población por localidad	% promedio localidad	Población total 2000	% población total
Menores de 5000 habitantes	8,942	419	0.03	3,746,244	15.59
De 5000 a 14999 habitantes	181	8,297	0.65	1,501,824	6.25
De 15 mil a 99999 habitantes	83	35,807	2.80	2,971,964	12.37
De 100 mil a 499999 habitantes	26	276,260	21.60	7,182,751	29.90
De 500 mil y más habitantes	9	958,150	74.92	8,623,349	35.89
Total	9,241	1,278,933	100.00	24,026,132	100.00

Tamaños de localidad	Número localidades	Promedio de población por localidad	% promedio localidad	Población total 2000	% población total
Menores de 5,000 habitantes	3,060	264	0.02	806,650	15.94
De 5,000 a 14,999 habitantes	9	7,272	0.58	65,450	1.29
De 15 mil a 99,999 habitantes	7	28,538	2.27	199,766	3.95
De 100 mil a 499,999 habitantes	4	321,439	25.55	1,285,755	25.41
De 500 mil y más habitantes	3	900,618	71.58	2,701,853	53.40
Total	3,083	1,258,130	100.00	5,059,474	100.00

Grado de vulnerabilidad	Población por tamaño de localidad							
	Menores de 5 mil habitantes		De 5 mil a menos de 100 mil habitantes		De 100 mil y más habitantes		Total	
	Población	%	Población	%	Población	%	Población	%
Escasa	1,732,324	7.2	4,310,183	17.9	15,806,100	65.8	21,848,607	90.9
Elevada	456,852	1.9		0.0		0.0	456,852	1.9
Moderada	1,557,068	6.5	163,605	0.7		0.0	1,720,673	7.2
Total	3,746,244	15.6	4,473,788	18.6	15,806,100	65.8	24,026,132	100.0

cia, recuperación, prevención, etcétera) si ocurren dichos eventos, puesto que su situación económica y social es diferente.

LA POBLACIÓN VULNERABLE RESIDENTE EN ÁREAS DE INUNDACIÓN

Con el propósito de diferenciar a la población según niveles de vulnerabilidad, como se mencionó anteriormente, se establecieron tres categorías: elevada, moderada y escasa vulnerabilidad. De acuerdo con esta clasificación, tenemos que la gran mayoría de la población en riesgo de inundación presenta una escasa vulnerabilidad (90.9%), explicada por su residencia en ciudades de 100 mil y más habitantes (65.8%), o en ciudades de 5 mil a menos de 100 mil habitantes (17.9%) donde las condiciones de las viviendas y los servicios con que cuentan influyen en el grado de vulnerabilidad de manera importante (Cuadro 5).

Sin embargo, si bien la población con elevada vulnerabilidad residente en áreas susceptibles de inundación es relativamente poca (1.9%), estas 456 mil personas residen en localidades menores de 5 mil habitantes, y sería aquí donde habría que estar atento para prevenir situaciones de desastre. Si incluimos a la población con moderada vulnerabilidad (1.7 millones) tenemos que alrededor de 2.1 millones de personas están en riesgo permanente dada su vulnerabilidad frente a inundaciones (Cuadro 5 y Figura 1).

Sin embargo, si bien la población con elevada vulnerabilidad residente en áreas susceptibles de inundación es relativamente poca (1.9%), estas 456 mil personas residen en localidades menores de 5 mil habitantes, y sería aquí donde habría que estar atento para prevenir situaciones de desastre. Si incluimos a la población con moderada vulnerabilidad (1.7 millones) tenemos que alrededor de 2.1 millones de personas están en riesgo perma-

nente dada su vulnerabilidad frente a inundaciones (Cuadro 5 y Figura 1).

Por zona funcional, tenemos que de las 9,241 localidades en áreas susceptibles de inundación, 477 se localizan en las partes altas de las cuencas donde residen 736,605 personas; 2,359 localidades en la parte media con 7,636,440 habitantes y 6,405 localidades en las partes bajas de las cuencas con 15,653,087 personas. Se puede observar que la mayoría de la población en riesgo por inundaciones reside en las partes bajas de las cuencas (65.2%) y en la porción media 31.8 por ciento (Cuadro 6).

Según su nivel de vulnerabilidad, como se expresó con anterioridad, predomina la escasa vulnerabilidad, pero hay un poco más de 2.1 millones de personas con mediana y elevada vulnerabilidad, que residen principalmente en la zona funcional baja (1.56 millones) y media de las cuencas (524 mil personas) (Cuadro 6, Figura 2).

También es necesario tener en cuenta que en solo diez cuencas hidrográficas (río Balsas, Lerma Chapala, río

Cazones, Estero La Inicial, río Yaqui, río Nazas, río Jamapa, río Sonora, río Bravo y cuenca de México) residen 15.8 millones de personas en áreas susceptibles de inundación (65.8% de la población en esta situación) en 35 ciudades de 100 mil y más habitantes, de las cuales dos con casi 332 mil personas se sitúan en la zona funcional alta de la cuenca, diez con casi 5.2 millones en la parte media, y 23 ciudades con cerca de 10.3 millones de

Zona funcional	Nivel de vulnerabilidad	Población	% Población	Número Localidades
Cuenca Alta	Escasa	647,808	2.70	195
	Moderada	71,132	0.30	200
	Elevada	17,665	0.07	82
	Total	736,605	3.07	477
Cuenca Media	Escasa	7,112,175	29.60	1,020
	Moderada	422,690	1.76	941
	Elevada	101,575	0.42	398
	Total	7,636,440	31.78	2,359
Cuenca Baja	Escasa	14,088,624	58.64	1,556
	Moderada	1,226,851	5.11	3,022
	Elevada	337,612	1.41	1,827
	Total	15,653,087	65.15	6,405
Total	Escasa	21,848,607	90.94	2,771
	Moderada	1,720,673	7.16	4,163
	Elevada	456,852	1.90	2,307
	Total	24,026,132	100.00	9,241

Fuente: cálculos propios con base en INE 2009 e INEGI, 2000.

CUADRO 7. POBLACIÓN RESIDENTE EN ÁREAS SUSCEPTIBLES DE INUNDACIÓN EN CIUDADES DE 100 MIL Y MÁS HABITANTES SEGÚN ZONA FUNCIONAL EN LAS DIEZ CUENCAS HIDROGRÁFICAS MÁS POBLADAS

Nombre de la Cuenca		Población		%
		Población	Número Localidades	Total
Cuenca Alta	Lerma-Chapala		0	0.00
	Río Bravo		0	0.00
	Cuenca de México		0	0.00
	Río Cazones		0	0.00
	Río Jamapa		0	0.00
	Río Nazas		0	0.00
	Río Sonora		0	0.00
	Río Yaquí		0	0.00
	Estero La Inicial	199,778	1	0.83
	Río Balsas	132,158	1	0.55
	SubTotal	331,936		1.38
	Total	736,605	2	3.07
Cuenca Media	Estero La Inicial		0	0.00
	Río Balsas		0	0.00
	Río Cazones		0	0.00
	Río Jamapa		0	0.00
	Río Nazas		0	0.00
	Río Yaquí		0	0.00
	Río Bravo	2,321,687	5	9.66
	Cuenca de México	2,189,281	3	9.11
	Río Sonora	539,481	1	2.25
	Lerma-Chapala	136,023	1	0.57
SubTotal	5,186,472		21.59	
Total	7,636,440	10	31.78	
Cuenca Baja	Estero La Inicial		0	0.00
	Lerma-Chapala		0	0.00
	Río Balsas		0	0.00
	Río Sonora		0	0.00
	Cuenca de México	8,092,006	16	33.68
	Río Bravo	770,789	2	3.21
	Río Jamapa	528,229	2	2.20
	Río Nazas	497,881	1	2.07
	Río Yaquí	248,428	1	1.03
	Río Cazones	150,359	1	0.63
SubTotal	10,287,692		42.82	
Total	15,653,087	23	65.15	
Total	Río Balsas	132,158	1	0.55
	Lerma-Chapala	136,023	1	0.57
	Río Cazones	150,359	1	0.63
	Estero La Inicial	199,778	1	0.83
	Río Yaquí	248,428	1	1.03
	Río Nazas	497,881	1	2.07
	Río Jamapa	528,229	2	2.20
	Río Sonora	539,481	1	2.25
	Río Bravo	3,092,476	7	12.87
	Cuenca de México	10,281,287	19	42.79
Total	15,806,100	35	65.79	
TOTAL	24,026,132		100.00	

Población y ubicación de las ciudades según zona funcional de las cuencas en zonas de inundación

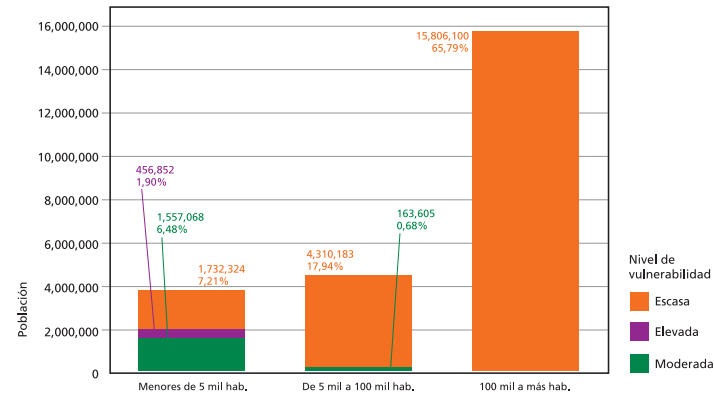


Figura 1. Población residente en áreas susceptibles de inundación según nivel de vulnerabilidad por tamaño de localidad

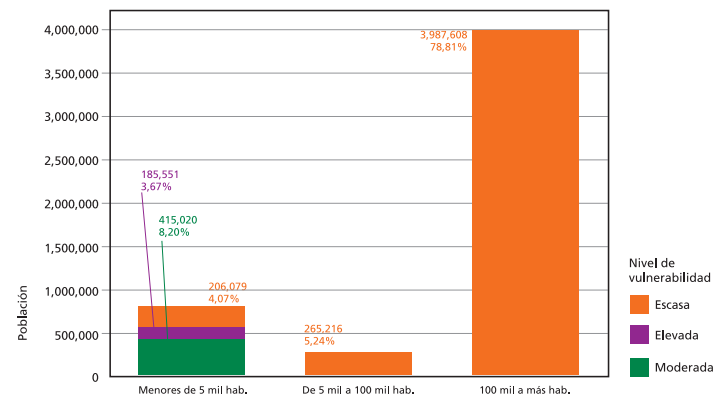


Figura 3. Población residente en zonas de inestabilidad de laderas según nivel de vulnerabilidad por tamaño de localidad.

personas en la parte baja de la cuenca (Cuadro 7).

LA POBLACIÓN VULNERABLE RESIDENTE EN ÁREAS CON INESTABILIDAD DE LADERAS

De los poco más de 5 millones de personas que residen en áreas con inestabilidad de

laderas, la gran mayoría presenta escasa vulnerabilidad (88.1%), dado que en gran proporción habita en ciudades mayores de 100 mil habitantes. Sin embargo, cerca de 600 mil personas tienen una elevada o moderada vulnerabilidad, la cual habita localidades menores de 5 mil habitantes (Cuadro 8 y Figura 3).

Por zona funcional, tenemos que de las 3,083 localidades en áreas de deslizamiento de laderas, 1,436 se localizan en las porciones de las cuencas altas, donde residen 550,416 personas; 1,388 localidades en la parte media con 2,813.636 habitantes y 259 en la cuenca baja con 1,695,422 personas. Se puede observar que la

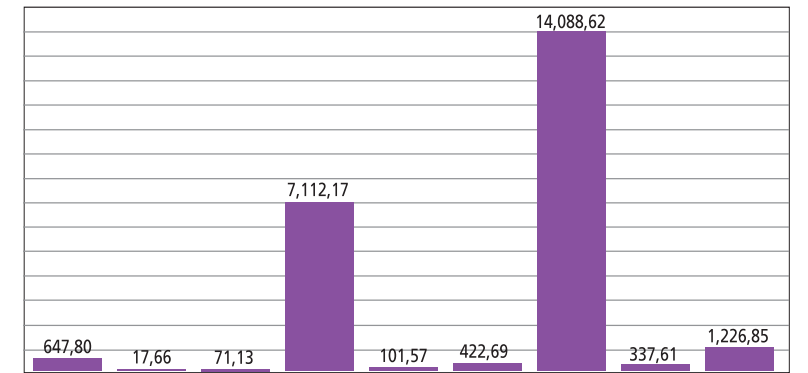


Figura 2. Población residente en áreas susceptibles de inundación según nivel de vulnerabilidad por zona funcional por cuenca.

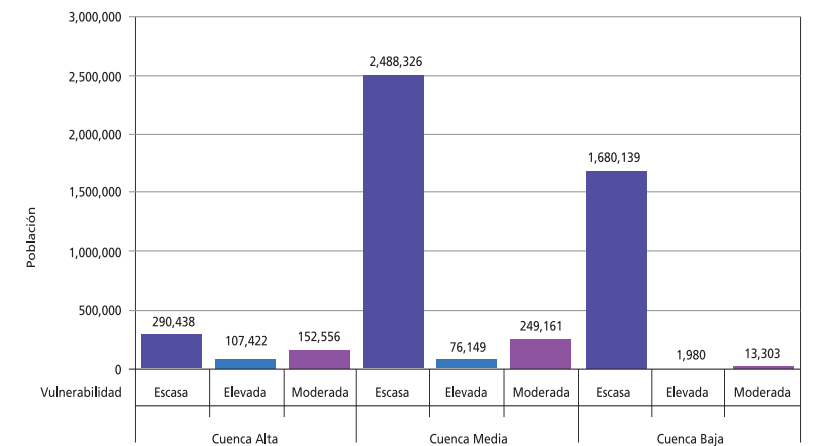


Figura 4. Población residente en áreas de inestabilidad de laderas según nivel de vulnerabilidad por zona funcional de la cuenca.

mayoría de la población en riesgo por estar en zonas de deslizamiento de laderas reside en la parte media de las cuencas (55.6%) y en la porción baja, 33.5 por ciento (Cuadro 9 y Figura 4).

Según su nivel de vulnerabilidad, como se expresó con anterioridad, predomina la escasa vulnerabilidad, pero hay un poco más de 600 mil de personas con moderada y elevada vulnerabilidad, que residen principalmente en las zonas funcional media (320 mil) y alta de las cuencas, con 260 mil personas (Cuadro 9).

En solamente dos cuencas: cuenca de México y río Papagayo reside la mayoría de

CUADRO 8. POBLACIÓN RESIDENTE EN ÁREAS DE INESTABILIDAD DE LADERAS SEGÚN GRADO DE VULNERABILIDAD POR TAMAÑO DE LOCALIDAD

Grado de vulnerabilidad	Grupos de población por tamaño de localidad							
	Menores de 5 mil habitantes		De 5 mil a menos de 100 mil habitantes		De 100 mil y más habitantes		Total	
	Población	%	Población	%	Población	%	Población	%
Escasa	206,079	4.1	265,216	5.2	3,987,608	78.8	4,458,903	88.1
Elevada	185,551	3.7		0.0		0.0	185,551	3.7
Moderada	415,020	8.2		0.0		0.0	415,020	8.2
Total	806,650	15.9	265,216	5.2	3,987,608	78.8	5,059,474	100.0

la población en situación de riesgo por deslizamiento de laderas. En la primera cuenca se ubican siete localidades que son registradas como tales por el Censo de Población, pero se trata de delegaciones de la zona metropolitana de Ciudad de México, como son Naucalpan, Xochimilco, Álvaro Obregón, Miguel Hidalgo, Gustavo A. Madero y Atizapán de Zaragoza, con 100 mil habitantes y más, donde habitan casi 4 millones de personas (78.8% de la población total en esta situación). En la parte media de la cuenca de México hay cuatro delegaciones donde residen 2.2 millones, y en la zona funcional baja de la misma se localizan las otras dos delegaciones con casi 1.6 millones de personas. En la zona funcional alta de la cuenca del río Papagayo se ubica la ciudad de Chilpancingo con un poco más de 141 mil personas (Cuadro 10).

PRIORIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS SEGÚN VULNERABILIDAD A INUNDACIONES E INESTABILIDAD DE LADERAS

La población residente en áreas susceptibles de inundaciones (alrededor de 24 millones) es muy numerosa y vive en ciudades donde prevalecen condiciones materiales que implican una escasa vulnerabilidad, según el índice construido para tal efecto; sin embargo, debería ser priorizada en cuanto a su elevado número, especialmente la que reside en la zona funcional baja de la cuenca de México.

Situación similar ocurre en las zonas funcionales bajas de las cuencas de río Bravo, río Jamada, río Nazas y río Yaqui, así como en la zona funcional media de la cuenca del río Sonora.

En las cuencas mencionadas anteriormente debieran realizarse labores preventivas ligadas al control de las aguas y a la restauración de las partes altas de las cuencas, dada la imposibilidad de plantear que la población residente pueda cambiar de lugar, en tanto se trata de ciudades con colonias y barrios relativamente consolidados.

Respecto a la población residente en áreas susceptibles de deslizamiento de laderas, alrededor de 5 millones, en su mayoría presenta escasa vulnerabilidad (88.1%), y alrededor de 600 mil personas con moderada y elevada vulnerabilidad residen en las cuencas de México y del río Papagayo: se trata principalmente de población de escasos recursos económicos asentada en laderas de manera ilegal.

En este tipo de asentamientos puede plantearse la reubicación de las viviendas, como ocurre en varias delegaciones del Distrito Federal, así como también la construcción de viviendas apropiadas a tal situación. Sin embargo, la imposibilidad de satisfacer la demanda de vivienda para los sectores más pobres de la población en la Ciudad de México presiona a la ocupación de zonas de alto riesgo.

¹ Ver capítulo *Peligros geológicos-geomorfológicos por cuenca*, en esta publicación.

CUADRO 9. POBLACIÓN RESIDENTE EN ÁREAS DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS SEGÚN NIVEL DE VULNERABILIDAD POR ZONA FUNCIONAL DE LA CUENCA

Zona funcional	Nivel de vulnerabilidad	Población	% Población	Número Localidades
Cuenca Alta	Escasa	290,438	5.74	184
	Moderada	152,556	3.02	601
	Elevada	107,422	2.12	651
	Total	550,416	10.88	1,436
Cuenca Media	Escasa	2,488,326	49.18	248
	Moderada	249,161	4.92	672
	Elevada	76,149	1.51	468
	Total	2,813,636	55.61	1,388
Cuenca Baja	Escasa	1,680,139	33.21	164
	Moderada	13,303	0.26	74
	Elevada	1,980	0.04	21
	Total	1,695,422	33.51	259
Total	Escasa	4,458,903	88.13	596
	Moderada	415,020	8.20	1,347
	Elevada	185,551	3.67	1,140
	Total	5,059,474	100.00	3,083

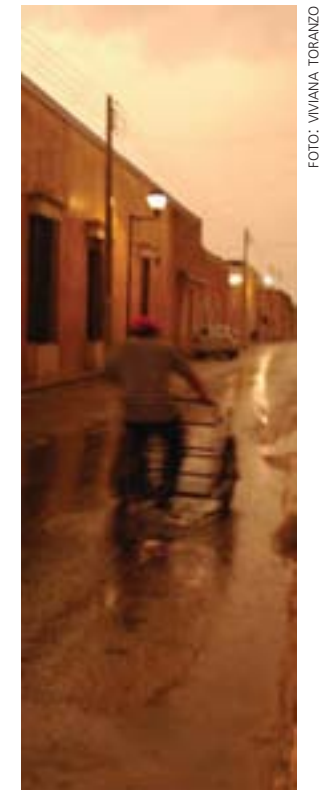


FOTO: VIVIANA TORANZO

² Para que un fenómeno natural se considere como un peligro (amenaza) depende de la probabilidad de ocurrencia en una comunidad. Peligro es el riesgo o contingencia inminente de que suceda algún mal (Real Academia Española, 2001). La amenaza es la probabilidad de que ocurra un riesgo frente al cual esa comunidad particularmente es vulnerable (Wilches Chau, 1993).

³ La información sobre inundaciones e inestabilidad de laderas proviene del estudio elaborado por Enrique, Oropeza y Ortiz-Pérez, presentado en esta misma publicación.

CUADRO 10. POBLACIÓN RESIDENTE EN ÁREAS DE INESTABILIDAD DE LADERAS EN CIUDADES DE 100 MIL Y MÁS HABITANTES SEGÚN ZONA FUNCIONAL EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Clave de Cuenca	Población		%		
	Población	Número Localidades	Total		
Población y ubicación de las ciudades según región funcional de las cuencas en zonas de Inestabilidad de laderas	Cuenca Alta	20A1	141,522	1	2.80
		26F1		0	0.00
	Total		550,416	1	10.88
	Cuenca Media	26F1 Cuenca de México	2,276,150	4	44.99
		20A1		0	0.00
	Total		2,813,636	4	55.61
	Cuenca Baja	26F1	1,569,936	2	31.03
		20A1		0	0.00
	Total		1,695,422	2	33.51
	Total	26F1	3,846,086	6	76.02
	20A1	141,522	1	2.80	
Total		3,987,608	7	78.81	
TOTAL		5,059,474		100.00	

PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LAS CUENCAS DE MÉXICO

URIEL BANDO MURRIETA, ARTURO GARRIDO, MIGUEL ÁNGEL ALTAMIRANO DEL CARMEN Y JULIA MARTÍNEZ FERNÁNDEZ

EL CAMBIO CLIMÁTICO, o calentamiento global, es el problema ambiental planetario más relevante debido a los impactos previsibles que tendrá sobre los sectores productivos, los recursos hídricos, los ecosistemas, la biodiversidad, la infraestructura, la salud pública y en general sobre los sistemas naturales y humanos.

Los efectos más relevantes del cambio climático son el incremento de la temperatura media global, las variaciones en las precipitaciones y la elevación del nivel del mar, y conlleva pérdida de glaciares, propagación de enfermedades y plagas, pérdida de biodiversidad y litoral costero, intensificación de sequías, lluvias, huracanes, intrusión salina, afectación en la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, modificaciones en la producción agrícola, impactos sociales y daños a la salud, entre muchos otros.

El sistema agua es transversal a todos los sistemas humanos y naturales. Dado que este sistema será uno de los más impactados por el cambio climático, resulta pertinente realizar el análisis de riesgo y vulnerabilidad por cuenca hidrográfica.

La cuenca es el marco funcional de relaciones espaciales entre los elementos biofísicos y humanos, cuya expresión puede ser evaluada a través del agua. Por ello, la cuenca constituye la unidad idónea para aproximarse al estudio de la evaluación del riesgo, la gestión de los recursos hídricos y el manejo del territorio ante el cambio climático.

En la *Cuarta comunicación de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, se menciona que los efectos esperados incluyen una reducción en la disponibilidad natural media del agua, la cual será afectada tanto por mayor evapotranspiración y menor precipitación, como por la disminución de su calidad; una mayor intrusión salina en acuíferos costeros por la elevación del nivel del mar; y mayores afectaciones en la infraestructura hidráulica como resultado de eventos extremos más intensos y posiblemente más frecuentes, del tipo norte o huracán. La situación descrita afectará a los sistemas humanos y naturales, particularmente en las regiones que padecen escasez del recurso. Por esta razón, es preciso identificar a nivel local los efectos para poder dimensionarlos y desarrollar medidas apropiadas de adaptación (INE, 2009a).

En el futuro, en las zonas urbanas de México se agravará el problema de abastecimiento de agua en relación directa con el aumento de la población, así como por el cambio climático y la variabilidad climática. Las razones principales estarán ligadas al abatimiento de los niveles de los acuíferos (al disminuir la recarga y aumentar la evapotranspiración), y la reducción en los caudales de los cuerpos superficiales.

Ante la inminencia del cambio climático se tiene la oportunidad de reducir la amenaza mediante la mitigación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y de contrarrestarla con la adaptación que implica la reducción de la vulnerabilidad para minimizar el riesgo futuro. Lamentablemente, muy pocos resultados se han logrado en torno a la mitigación, por ello el papel de la adaptación es cada vez más importante para reducir el riesgo.

El Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático (PICC) señala que la adaptación debe integrar todos los ajustes necesarios para que los sistemas humanos y naturales disminuyan su vulnerabilidad, minimicen daños y aprovechen posibles beneficios de las nuevas condiciones climáticas (PICC, 2007). Enfrentar el cambio climático involucra la res-

ponsabilidad de fortalecer las condiciones que garanticen el bienestar y la viabilidad de los sistemas humanos y naturales.

Por todas las implicaciones antes citadas se realizan proyecciones climáticas para conocer la amenaza futura y determinar la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos, para proponer medidas de adaptación que reduzcan la vulnerabilidad y por ende, el riesgo ante el cambio climático.

Las proyecciones climáticas se producen por medio de representaciones matemáticas del sistema climático de la Tierra, con Modelos de Circulación General (MCG). Estos modelos vinculan una representación tridimensional del océano con la atmósfera y cuentan con resoluciones de cuadrícula de 100 a 500 km (unidad de área para el análisis). Los experimentos se realizan con base en la simulación del efecto invernadero ampliado, mediante el aumento gradual del forzamiento radiativo equivalente a las concentraciones históricas de los GEI y aerosoles de sulfato en 1990, y posteriormente las simulaciones de la respuesta a los escenarios de GEI y aerosoles del año 2000 hasta el año 2100 (PNUD, 2005).

En su cuarto informe de evaluación, el PICC (2007) considera diversos MCG para calcular

CAMBIO EN LA TEMPERATURA (CLIMATOLOGÍA 2020's; ESCENARIO A2)



CAMBIO EN LA PRECIPITACIÓN (CLIMATOLOGÍA 2020's; ESCENARIO A2)



una medida de la dispersión entre proyecciones (denominada incertidumbre) que permite estimar el rango de aumento en la temperatura o de cambio en la precipitación. De esta forma, las proyecciones globales se presentan en términos de probabilidades con base en ensambles de diversos experimentos de MCG, los que requieren regionalizarse para contar con proyecciones de mayor resolución espacial y temporal. Las proyecciones globales de cambio climático regionalizadas para México, pueden encontrarse en <http://zimbra.ine.gob.mx/escenarios> con resolución temporal mensual y espacial de 50x50 km² para el periodo 2010-2099, con varios escenarios de emisiones de GEI: A2, A1B, B1 y COMMITED (escenario bajo el supuesto de mantener constante la concentración de GEI del año 2000). En dicha regionalización se aplicó un método estadístico, mediante la Herramienta de Predicibilidad del Clima elaborada por el Instituto Internacional para la Investigación del Clima y la Sociedad, de Estados Unidos (INE, 2007).

A partir de las proyecciones de temperatura y precipitación bajo cambio climático regionalizadas para México se obtuvieron tres climatologías, con referencia a un periodo base (1970-1999), la de los: a) 2020's (representa el periodo 2010-2039); b) 2050's (representa el periodo 2040-2069), y c) 2080's (representa el periodo 2070-2099) para los escenarios de emisiones de GEI antes citados (INE, 2009a).

Por su relevancia, a partir de los resultados mencionados se elaboró un mapa de las proyecciones de anomalías de temperatura (o diferencia entre la climatología futura y la histórica reproducida en las proyecciones de cambio climático regionalizadas) (Mapa 1) y de precipitación (Mapa 2) usando como unidad de representación a las cuencas hidrográficas de México, para la climatología 2020's y para el escenario A2 de emisiones de GEI, bajo las siguientes consideraciones:

a) Para cada celda se redondeó el valor de la proyección a una décima de grado para la

anomalía de temperatura media anual (°C) y para la anomalía de precipitación en unidades de porcentaje relativa a la precipitación media anual; b) En la agregación del valor resultante para cada cuenca, se tomó aquel valor con predominancia sobre su territorio, es decir, se consideró el valor que ocupa mayor área geográfica al presentarse dos o más valores diferentes de la proyección; c) Con respecto a la precipitación se establecieron rangos cada 5% de cambio del valor más probable y no se graficó la incertidumbre, debido a que existe una alta dispersión entre las proyecciones de los modelos en comparación con las de temperatura.

DESCRIPCIÓN DE LAS PROYECCIONES

El Mapa 1 muestra el patrón geográfico sobre la proyección de anomalías positivas para la temperatura que van desde 0.5°C hasta 1.7°C (considerando la incertidumbre) en las cuencas del noroeste de México, en las que desembocan al Golfo de California, y las que se localizan al sur de la península de Baja California, mientras que en las cuencas del sureste y centro del país se esperan anomalías positivas desde 0.4°C hasta 1.1°C para la climatología 2020's, bajo el escenario A2 de emisiones de GEI, lo que indica que existen cuencas en el noroeste del país que podrían experimentar 0.6°C de anomalía mayor que algunas cuencas del sureste. Cabe mencionar que no se presentan disminuciones de temperatura.

Las anomalías de temperatura proyectadas en el sureste de México tienen mayor probabilidad de rebasar en el futuro cercano (2030) los rangos de variabilidad interanual experimentados en las décadas recientes. Tal condición tomará más tiempo en el norte, aún cuando las anomalías proyectadas son mayores debido a que la variabilidad interanual allí es mayor (Zermeño, 2008, citado en INE, 2009).

Para el caso de la precipitación (Mapa 2), destaca la magnitud del cambio negativo por-

centual proyectado para las cuencas del noroeste de México, relativos a la precipitación media anual, en la parte alta del Golfo de California. Para la climatología de los 2020's bajo el escenario A2 de emisiones de GEI, se proyectan disminuciones de precipitación del orden de 5% en las cuencas del centro-norte y sur-sureste del país y reducciones entre 5% y 10% para las cuencas del centro, península de Yucatán y noroeste. También, en el noroeste se presentarían disminuciones de un 10% a un 20%. Cabe resaltar la cuenca arroyo El Tapón, en el estado de Sonora, que alcanzaría reducciones mayores al 20%. Por otra parte, varias cuencas ubicadas en los estados de Chihuahua y Coahuila, presentarían incrementos de 5% en la precipitación.

Hasta ahora se conocen los impactos esperados en gran parte de los sistemas humanos y naturales pero se conoce muy poco el nivel de riesgo en el que se encuentran. Con estas proyecciones se pueden iniciar las estimaciones de riesgo a nivel de cuenca, así como el grado de vulnerabilidad actual y futura de estos sistemas.

Las cuencas prioritarias y de especial atención serán aquellas que presentan una combinación extrema de impacto por incremento en

la anomalía de temperatura y disminución de la precipitación. Por ello, en aquellas cuencas de importancia económica, ambiental y social que tengan una alta vulnerabilidad actual y futura, deberá ser prioritario su estudio para determinar el riesgo de los sistemas humanos y naturales ante el cambio climático.

En todo el país se esperan incrementos de temperatura media anual desde 0.4°C hasta 1.7°C para la próxima climatología del 2010 al 2030. Este impacto, combinado con la disminución de precipitación, por ejemplo, de más del 10%, llevará a que las cuencas en México tengan problemas en los sectores hídrico, agrícola, salud y forestal, entre otros.

Debido a la gran complejidad de cambios a los que se verá confrontada en los próximos años la sociedad en su conjunto, se hace necesario abordar urgentemente esta problemática de manera integrada y sobre todo, coordinada. Siendo el agua un elemento crucial para el ser humano, su manejo y disponibilidad estará determinado, entre otros, por la manera cómo se utilicen los recursos territoriales y naturales, siendo la cuenca hidrográfica la unidad geográfica que contribuiría a entender dichas relaciones, tanto de manera espacial como funcional en el tiempo.



FOTO: ALVARO FIGUEROA

LAS CUENCAS DE MÉXICO Y SU BIODIVERSIDAD: UNA VISIÓN INTEGRAL DE LAS PRIORIDADES DE CONSERVACIÓN

VERÓNICA AGUILAR, MELANIE KOLB, PATRICIA KOLEFF Y TANIA URQUIZA HAAS

LA VIDA EXHIBE UNA ASOMBROSA diversidad de formas, funciones, comportamientos, ciclos vitales, agregaciones, distribuciones, etcétera, y se expresa de forma excepcional en México, reconocido como uno de los países que alberga mayor diversidad biológica en el mundo, por la variedad de paisajes y ecosistemas, la elevada riqueza de especies de flora y fauna —muchas de las cuales son endémicas— y su complejidad cultural y ambiental. Esta biodiversidad brinda numerosos servicios ambientales que son fundamentales para la existencia de la humanidad y su bienestar social (CONABIO, 2008).

Por otro lado, la tendencia en el incremento de los factores que amenazan la biodiversidad, tales como la destrucción del hábitat, la sobreexplotación, la introducción de especies invasoras, la contaminación y los inminentes efectos del cambio climático, están conduciendo a la pérdida irreversible de poblaciones, especies y ecosistemas y a la degradación de los servicios ambientales (CONABIO, 2009).

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), que suscribió México en 1992, es uno de los instrumentos de mayor relevancia en el mundo para promover la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad. Durante

la Séptima Conferencia de las Partes en 2004, se acordó fortalecer los sistemas de áreas protegidas mediante el Programa de Trabajo sobre Áreas Protegidas. Con ello, los países adquirieron el compromiso de determinar los vacíos y las omisiones en la conservación de la biodiversidad (análisis *gap*) con el fin de tener una red efectiva de áreas protegidas que representen adecuadamente a la biodiversidad, así como fortalecer los planes de manejo y los mecanismos de financiamiento (SCDB, 2004). Un antecedente fundamental en México fue la definición de las regiones prioritarias por un grupo de especialistas coordinado por la CONABIO (Arriaga *et al.*, 1998, 2000, 2002). No obstante, durante la última década se compiló mayor información y hubo un creciente desarrollo conceptual y metodológico de la biología de la conservación y de las herramientas computacionales, que han permitido contar por primera vez con análisis a escalas más finas, capaces de considerar numerosas variables de muy diversos elementos de la biodiversidad, así como el contexto de los factores de amenaza que subyacen en nuestro país.

Por ello, México realizó un nuevo proceso de priorización para identificar los vacíos y omisiones en conservación. En 2005 se definió la planeación a diferentes escalas para

identificar, diagnosticar y evaluar las áreas de importancia para la conservación de una porción significativa de la biodiversidad de México. Con el fin de maximizar esfuerzos, se sumaron al compromiso organizaciones conservacionistas nacionales e internacionales y se conformó un grupo de trabajo que coordinaron la CONABIO y la CONANP. Al grupo de trabajo se sumaron cerca de 260 especialistas de diversas disciplinas, pertenecientes a numerosas universidades y centros de investigación, que brindaron datos, su experiencia y sus opiniones para enriquecer el proceso.

Debe tenerse en cuenta que a pesar de los avances en el conocimiento de la biota de México, éste es aún incompleto, sobre todo con respecto a algunos grupos de organismos propios de zonas inaccesibles y ambientes acuáticos (CONABIO, 2008). Por esto, a pesar de los sesgos, la priorización debe hacerse con base en la mejor información disponible; asimismo con en el conocimiento de especialistas fue posible identificar los sitios de mayor importancia por la excepcional biodiversidad que albergan, en los ambientes marinos, terrestres y de aguas epicontinentales (CONABIO *et al.*, 2007a,b). En este capítulo se presenta una caracterización de las cuencas del país, basada en los sitios prioritarios terrestres,

marinos y acuáticos epicontinentales para la conservación de la biodiversidad de México. Debido a que estos ambientes están interconectados en la naturaleza, la unidad natural para integrarlos es la cuenca (Montgomery *et al.*, 1995). El objetivo de este estudio fue clasificar las cuencas conforme a su importancia para la conservación de la biodiversidad, para cada ambiente y en su conjunto. Asimismo, debido a que la conservación depende en gran medida de las actividades humanas, incluimos un análisis sobre el nivel de impacto de las cuencas y su relación con las prioridades de conservación.

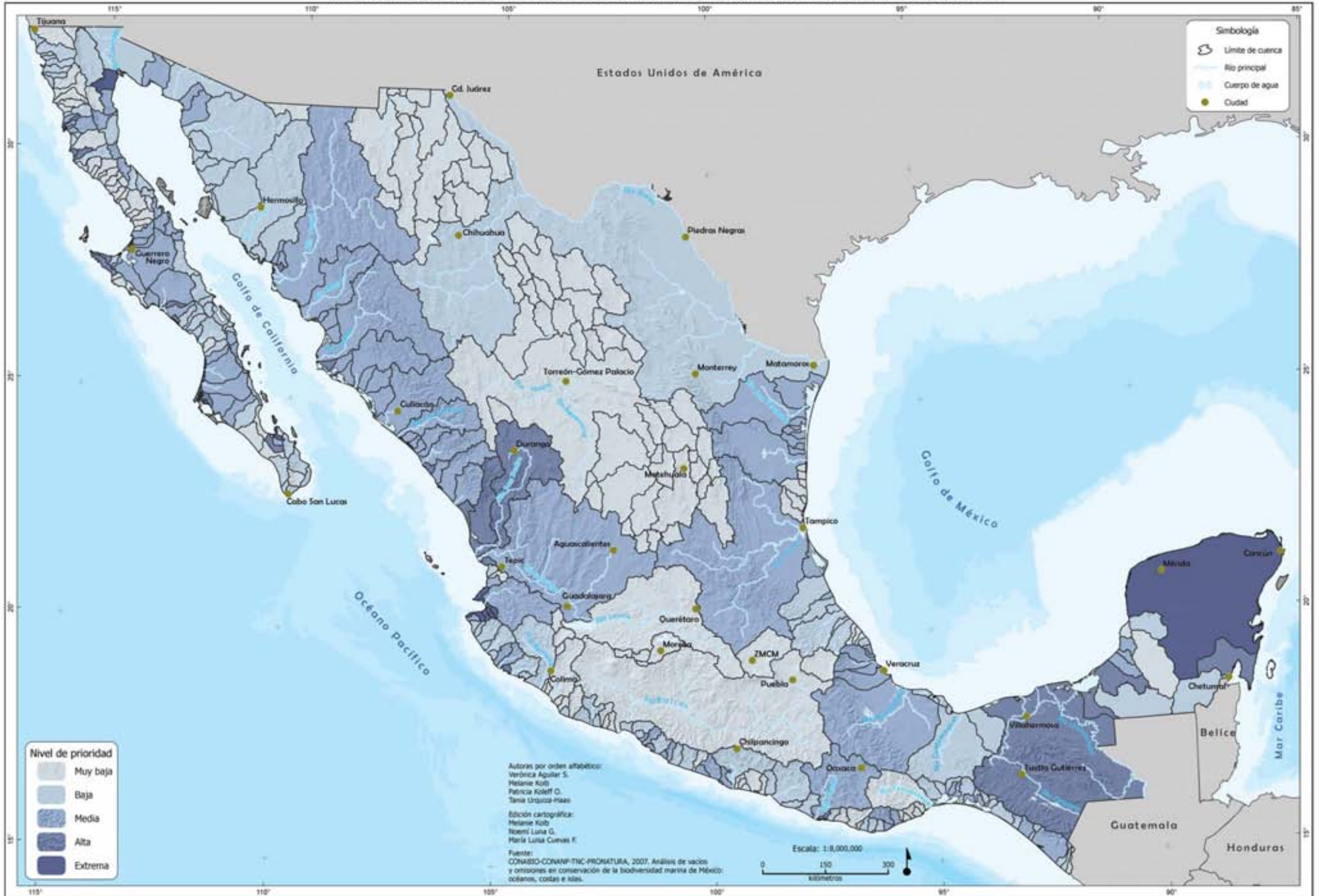
METODOLOGÍA

Para el análisis de priorización de las cuencas, se tomó como insumo los sitios prioritarios identificados en los análisis de vacíos y omisiones en conservación (CONABIO *et al.*, 2007a,b; Koleff *et al.*, 2009) y la cartografía más reciente de las cuencas hidrográficas del país (INE-INEGI-CONAGUA 2007). A continuación, se explica brevemente la metodología empleada en la identificación de los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad terrestre, marina y acuática epicontinental, y que fueron definidos por separado por las

PRIORIZACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD TERRESTRE



PRIORIZACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD MARINO-COSTERA



diferencias inherentes y los datos disponibles para cada ambiente.

- Se compiló información de diferentes fuentes, tales como cartografía temática digital, bases de datos de ejemplares georreferenciados de especies de flora y fauna provenientes del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), ejercicios previos de planeación para la conservación, literatura publicada y comunicación personal con especialistas en distintas ramas, así como un listado de diversos elementos clave para la conservación. Este proceso estuvo validado por expertos (participantes de los talleres y externos) y se llevó a cabo a través de una página electrónica interactiva (www.conabio.gob.mx/gap).
- Para la definición de los sitios prioritarios terrestres y acuáticos epicontinentales se utilizó el programa MARXAN, una herramienta de planeación sistemática, que optimiza la selección de sitios con base en metas cuantitativas de conservación para cada

uno de los elementos de la biodiversidad (especies, ecosistemas, tipos de vegetación, etcétera) incluidos en el análisis y considerando simultáneamente las principales amenazas que enfrentan (Ball y Possingham, 2000). La elección de los elementos de la biodiversidad y la asignación de metas de conservación (expresadas en proporción del área geográfica de distribución del elemento en cuestión), así como la asignación de costos (amenazas), se fundamentó en los criterios acordados por el grupo de expertos que participó en los talleres organizados por la CONABIO (para detalles metodológicos, véase Urquiza-Haas *et al.*, 2008; Koleff *et al.*, 2009; www.conabio.gob.mx/gap).

- El análisis de priorización de los sitios se hizo con base en la frecuencia de selección de los hexágonos de la mejor solución. Los sitios se clasificaron en tres niveles de prioridad: extrema (SE), alta (SA) y media (SM) (véanse detalles en Urquiza *et al.*, 2008, Koleff *et al.*, 2009).

- Debido a que no fue posible usar un algoritmo de priorización para la identificación de los sitios prioritarios marinos —por los sesgos en la información sobre biodiversidad de dichos ambientes— la identificación de prioridades se realizó por medio de un taller nacional en el que se definieron los sitios prioritarios, su delimitación geográfica y se elaboró una ficha técnica para cada uno de ellos. Estas fichas incluyeron información sobre las características biológicas, ecológicas, ambientales y de riesgo más relevantes de acuerdo con la opinión recabada de los expertos, misma que se complementó con información bibliográfica.
- El trazado fino de los polígonos marinos se realizó por medio de un sistema de información geográfica, aplicando criterios tales como tipos de vegetación, batimetría y cuerpos de agua (véanse detalles metodológicos en CONABIO *et al.*, 2007a).
- La priorización de los sitios se realizó con base en la calificación que los expertos estableció para cada uno de ellos; se clasifica-

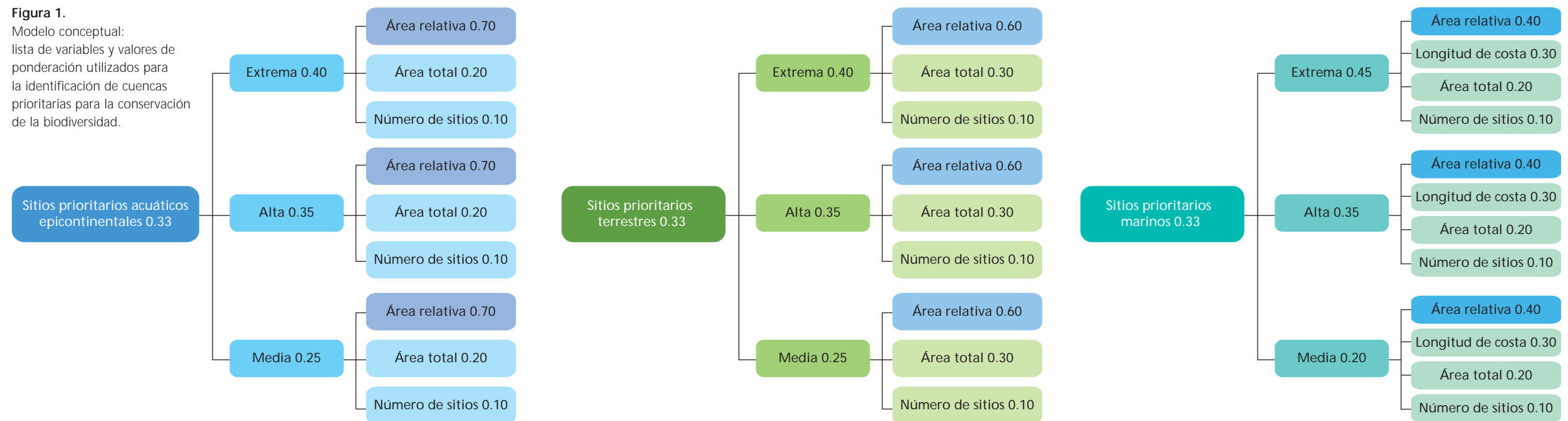
ron en tres niveles de prioridad: extrema (SE), alta (SA) y media (SM) (véanse detalles en CONABIO *et al.*, 2007a).

INTEGRACIÓN DE LOS DATOS DE BIODIVERSIDAD EN LAS CUENCAS DE MÉXICO

Se usaron técnicas de análisis multicriterio para integrar la información sobre los sitios prioritarios para la conservación de los diferentes ambientes, a través de un árbol de decisiones a nivel de cuenca, lo cual implicó la organización jerárquica de dicha información (*sensu* Saaty, 1980; Anselin y Meire, 1989; Malczewski, 1999; Sharifi *et al.*, 2004) en un modelo compuesto por 39 variables (criterios/factores), estructuradas en tres “ramas” o sub-bloques (Figura 1). Cada sub-bloque agregó por cuenca los diferentes datos disponibles de la biodiversidad terrestre, la acuática epicontinental y marina (evidentemente sólo aquellos sitios costeros). La agregación de estos sub-bloques tuvo como objetivo principal mostrar una clasificación de las cuen-

Figura 1.

Modelo conceptual: lista de variables y valores de ponderación utilizados para la identificación de cuencas prioritarias para la conservación de la biodiversidad.



cas del territorio nacional a partir de la prioridad de conservación de la biodiversidad en su conjunto; de igual forma, el arreglo de variables permitió conocer de manera individual y para cada ambiente, una clasificación de cuencas a partir de su importancia de conservación.

Por la escala y tipo de datos e información de cada uno de los insumos utilizados, se usaron técnicas de estandarización de las variables. En general, se utilizó la función de normalización lineal entre los valores absolutos mínimos y máximos (Malczewski, 1999; Sharifi *et al.*, 2004). Asimismo, se utilizó en el árbol de decisiones la variable área relativa además del área total (Figura 1) con el fin de balancear el efecto del tamaño de las cuencas.

Para cada cuenca se analizaron los datos para, posteriormente, obtener un solo valor individual estandarizado; este valor se asignó a cada cuenca, la unidad geográfica de análisis, por cada variable. Para integrar las variables en forma de mapas-índices se optó por la sumatoria lineal ponderada (Malczewski, 1999; Bonham-Carter, 2002), con lo cual se obtuvieron cuatro diferentes mapas-índices agregados.

Las premisas que sustentan la estructura del modelo y las funciones de estandarización, así como la asignación de pesos (ponderaciones) a cada factor, se fundamentan en el conocimiento o juicio de los autores de este trabajo.

IMPACTO ANTROPOGÉNICO EN LAS CUENCAS DE MÉXICO

Para evaluar el nivel del impacto antropogénico en las cuencas se utilizaron los resultados del modelo MEXBIO en su versión preliminar, generado por la CONABIO (2009). Este modelo usa relaciones cuantitativas entre presiones humanas y su impacto en la biodiversidad para generar un índice del nivel de impacto que varía de 0 a 100%, donde 100% corresponde al nivel más alto de impacto. Los factores de presión considerados fueron el

uso del suelo, la infraestructura carretera, la fragmentación del hábitat y el cambio climático (véase detalles en Alkemade *et al.*, 2009). Para analizar el nivel de impacto antropogénico de las cuencas, se establecieron cuatro niveles de impacto.

RESULTADOS SITIOS PRIORITARIOS TERRESTRES

El análisis multicriterio identificó 37 cuencas en la categoría de extrema prioridad que cubren aproximadamente 26% de la superficie del país, y en ellas se encuentra 42% del área de los sitios prioritarios terrestres (Cuadro 1, Mapa 1). Las cuencas de extrema prioridad y de mayor tamaño se ubican en la vertiente del Golfo de México (río Pánuco, río Papaloapan, río Coatzacoalcos, Grijalva-Usumacinta y península de Yucatán), si bien los sitios prioritarios terrestres se concentran prácticamente en las partes altas y medias de estas cuencas en donde los ecosistemas presentan un mejor estado de conservación. En particular, en la Sierra Madre de Oaxaca, en la cuenca del río Papaloapan, se presentan zonas con alta riqueza de especies de vertebrados terrestres y de endemismos. Por otro lado, en la cuenca del río Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta se encuentra la región de los Chimalapas y la Selva Lacandona, respectivamente, que son consideradas de suma importancia para la conservación por su alta concentración de espe-

cies de plantas, invertebrados y vertebrados (García-Mendoza *et al.*, 2004; Peterson *et al.*, 2003; Dirzo *et al.*, 2009). En el sureste también resaltan las cuencas del lago Chac-Ha y río Candelaria por la gran cantidad de sitios prioritarios de extrema y alta prioridad en relación al tamaño de la cuenca, y en donde las áreas protegidas de Calakmul, Balam Kin y Balam Kú cubren una buena proporción de estos sitios (aproximadamente 50%). La gran región de Calakmul es un hogar muy valioso para muchas especies en riesgo y carismáticas, como el jaguar, el tapir y el jabalí de labios blancos, y las dos especies de primates del país, entre otras (Reyna-Hurtado y Tanner, 2005; Ceballos *et al.*, 2002; Estrada *et al.*, 2004). En el norte del país, los sitios prioritarios se concentran en las cuencas del río Yaqui y río Matapé, catalogadas como de extrema prioridad, así como en las cuencas del noroeste de la península de Baja California.

Las cuencas de alta prioridad son las de mayor tamaño y ocupan casi la mitad del país, asimismo contienen una alta proporción de sitios prioritarios (39%), aunque el área relativa que cubren los sitios en estas cuencas es mucho menor que en el caso de las cuencas de extrema prioridad. Sin embargo, las cuencas en esta categoría son de gran relevancia ya que presentan amplias zonas que tienen la mayor concentración de especies endémicas de vertebrados y plantas en el país, específicamente en la cuenca del río Balsas y otras cuencas del Eje

Neovolcánico Transversal que presentan un alto recambio de especies (Koleff *et al.*, 2008).

SITIOS PRIORITARIOS MARINOS

El análisis multicriterio con los sitios prioritarios marinos identificó ocho cuencas de prioridad extrema (Cuadro 2, Mapa 2). Destacan la península de Yucatán, con el mayor número de sitios prioritarios (tres de importancia extrema, dos de importancia alta y tres de importancia media) y una superficie de 8,253.5 km² que representa 10.39% del área total de la cuenca, la región de Chacala-Bahía de Banderas, con cinco cuencas y un sitio prioritario por cuenca, y dos cuencas pequeñas, arroyo El Cajoncito en Bahía de la Paz y arroyo El Arrajal en el Alto Golfo de California, con un sitio prioritario cada una.

La península de Yucatán representa 4.09% del área total del país, pero la relevancia de esta cuenca radica en el elevado número de humedales costeros y ríos subterráneos conformados por una amplia variedad de ecosistemas y hábitats como petenes, cenotes, selvas inundables, tasistales, marismas, pantanos, manglares, praderas de pastos marinos y algas, dunas costeras y arrecifes coralinos, que representan zonas de crecimiento y reproducción de aves, tortugas, peces e invertebrados, así como áreas de refugio y alimentación de aves migratorias y mamíferos marinos.

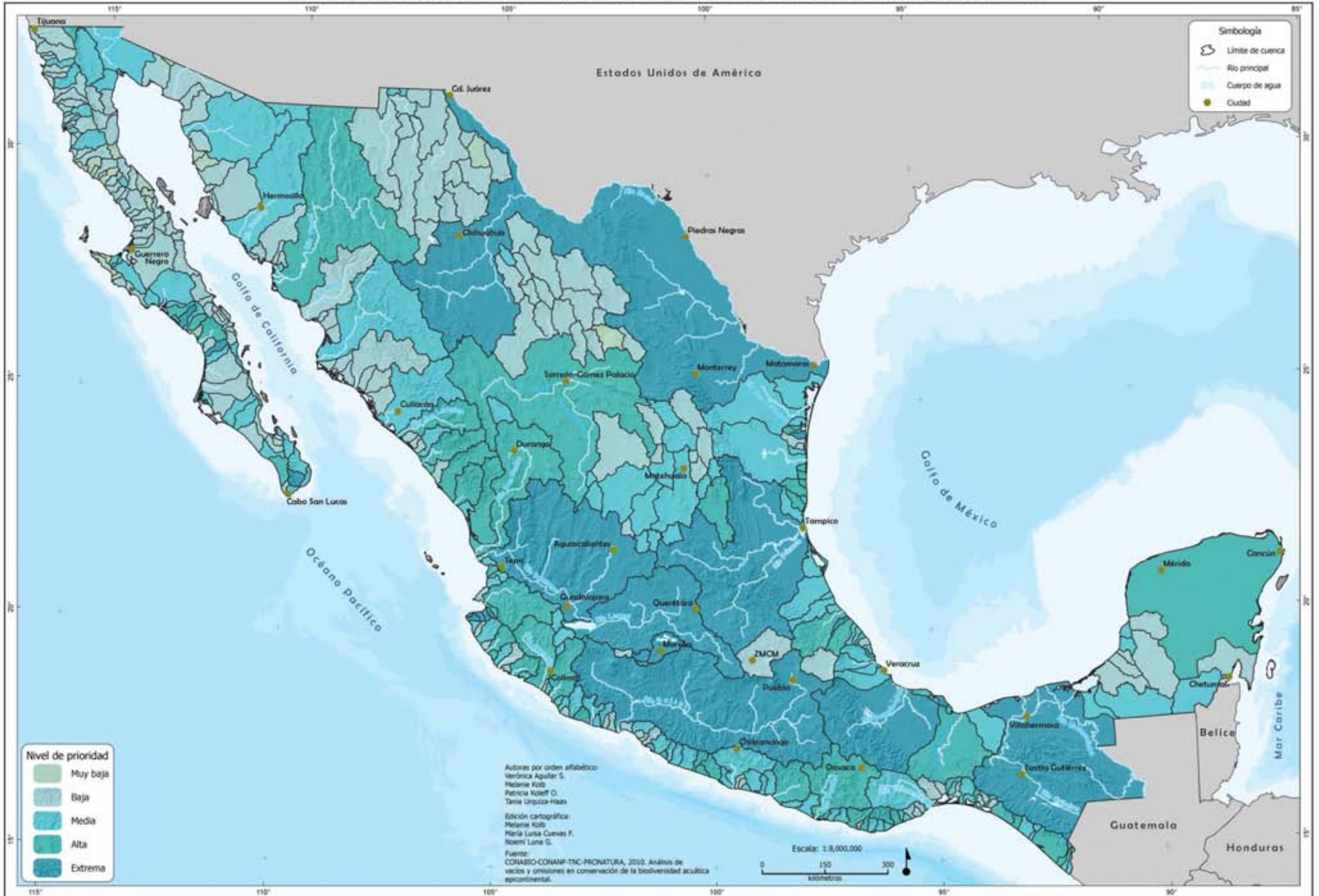
PRIORIDAD	Nº DE CUENCAS	%	ÁREA (km ²)	%	SPT (km ²)	%
Extrema	37	9.41	504,325	26.02	249,321	41.91
Alta	85	21.63	836,743	43.18	236,588	39.77
Media	96	24.43	336,393	17.36	83,490	14.03
Baja	97	24.68	190,175	9.81	25,534	4.29
Muy baja	78	19.85	70,299	3.63	3	0.00
	393	100.00	1,937,936	100.00	594,936	100.00

Cuadro 1. Sitios prioritarios terrestres (SPT), número de cuencas y área total por categoría de prioridad y porcentaje con respecto al número total de cuencas y superficie del país.

PRIORIDAD	Nº DE CUENCAS	%	ÁREA (km ²)	%	Nº DE SPM
Extrema	8	2.04	83,806.00	4.32	11
Alta	22	5.60	148,770.51	7.68	17
Media	104	26.46	591,651.18	30.53	29
Baja	112	28.50	500,277.08	25.81	51
Muy baja	147	37.40	613,727.85	31.66	0
	393	100.00	1,937,952.43	100.00	108*

Cuadro 2. Número de sitios prioritarios marinos (SPM), número de cuencas y área total por categoría de prioridad y porcentaje con respecto al número total de cuencas y superficie del país. *La suma no coincide con número total de sitios ya que algunos se comparten entre varias cuencas.

PRIORIZACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD ACUÁTICA-EPICONTINENTAL



La región de Chacala-Bahía de Banderas en el Pacífico se caracteriza por un litoral constituido por acantilados, islas continentales, lagunas costeras, dunas, playas rocosas y arenosas, y por una amplia diversidad de hábitats como manglares, marismas, pantanos, vegetación de duna costera, praderas de sargazo, comunidades arrecifales, zonas de crecimiento y reproducción de invertebrados, peces, tortugas, aves y mamíferos marinos y de refugio de aves migratorias.

Entre las cuencas que siguen en importancia están aquellas que alimentan a los humedales más importantes del país: en el Pacífico noroeste el Estero El Chisguete, que desemboca en Bahía Magdalena; en el Pacífico tropical el río San Pedro y Acaponeta que desembocan en Marismas Nacionales y en el Golfo de México, la del río Chumpán que desemboca en laguna de Términos.

SITIOS PRIORITARIOS ACUÁTICOS EPICONTINENTALES

El análisis de cuencas prioritarias con base en los sitios prioritarios de los ambientes acuáticos identifica 20 cuencas de prioridad extrema, que representan tan solo 5.09% del total de las cuencas pero que en área cubren 35.74% del territorio nacional (Cuadro 3, Mapa 3). Dentro de esta categoría se encuentran varias de las cuencas más grandes en extensión (ríos Bravo, Pánuco, Grijalva-Usumacinta, Balsas, Lerma-Chapala, Santiago y Papaloapan, entre otros), las cuencas de lagos muy importantes (Cuitzeo, Zirahuén y Pátzcuaro) y varias cuencas pequeñas pero significativas por su biodiversidad acuática, que se localizan principalmente en la planicie costera del Pacífico y la vertiente occidental de la península de Baja California.

Por número de sitios prioritarios (los hexágonos de prioridad extrema, alta y media; véase Cuadro 4), la cuenca del río Bravo resulta ser la más relevante con 2,237 hexágonos,

de los cuales 462 son de prioridad extrema, 585 de alta y 1,190 de media. Le siguen en orden de importancia las cuencas del río Pánuco con 401 hexágonos de prioridad extrema, el Grijalva-Usumacinta con 336 y el Balsas con 261. Con relación a las cuencas endorreicas correspondientes a lagos, la de Cuitzeo es la que presenta el mayor número de hexágonos prioritarios (153); de ellos, 124 de prioridad extrema, 19 de alta y 10 de media. Le siguen en importancia las cuencas de los lagos de Pátzcuaro y Zirahuén.

Todas estas cuencas se reconocen por su variedad de ecosistemas y hábitats, diversidad de especies, alto endemismo y microendemismo e importancia de sus humedales continentales y costeros. Sin embargo, debido a su uso intensivo y un manejo inadecuado, originado por una incapacidad para generar políticas públicas adecuadas que sean socialmente aceptadas y que estén orientadas al desarrollo sustentable del recurso hídrico, además de la falta de efectividad en su implementación por los diferentes actores involucrados, el ciclo hidrológico se ha visto alterado drásticamente, lo que ha derivado en una pérdida continua de biodiversidad acuática y recursos hídricos.

INTEGRACIÓN DE LOS SITIOS PRIORITARIOS TERRESTRES, MARINO-COSTEROS Y ACUÁTICOS EPICONTINENTALES

El análisis conjunto con base en los sitios prioritarios marinos, terrestres y acuáticos epicontinentales por cuenca, reveló 18 cuencas de prioridad extrema, en ellas sobresalen por su tamaño y relevancia ecológica las de la península de Yucatán, Grijalva-Usumacinta, río Papaloapan, río Pánuco, río Santiago, río San Pedro y río Acaponeta. No menos importantes, pero de menor tamaño, son cinco cuencas ubicadas en la región Chacala-Bahía Banderas en la boca del Golfo de California, la del río Coyuca en la costa del Pacífico tropical y la del Estero El Chisguete en Bahía Magdalena, todas ellas aso-

Cuadro 3. Sitios prioritarios epicontinentales (spe), número de cuencas y área total por categoría de prioridad y porcentaje con respecto al número total de cuencas y superficie del país.

PRIORIDAD	Nº DE CUENCAS	%	ÁREA (km²)	%	SPE (km²)	%
Extrema	20	5.09	692,582.67	35.74	233,945	41.10
Alta	57	14.50	443,310.68	22.88	149,784	26.32
Media	125	31.81	379,296.84	19.57	129,313	22.72
Baja	172	43.77	406,801.72	20.99	56,042	9.85
Muy baja	19	4.83	15,945.05	0.82	62	0.01
	393	100.00	1,937,952.43	100.00	569,146	100.00

Cuadro 4. Cuencas prioritarias para la conservación de la biodiversidad acuática epicontinental y número de hexágonos totales y por categoría de prioridad.

Cuenca	Nº de hexágonos totales	Nº hexágonos de prioridad extrema	Nº hexágonos de prioridad alta	Nº hexágonos de prioridad media
Río Bravo	2,237	462	585	1,190
Río Pánuco	1,481	401	485	595
Río Grijalva-Usumacinta	1,466	336	217	913
Río Balsas	1,496	261	449	786
Río Lerma-Chapala	813	218	232	363
Río Papaloapan	960	216	161	216
Río Santiago	1,249	181	433	635
Lago de Cuitzeo	153	124	19	10
Lago de Pátzcuaro	38	32	2	4
Lago de Zirahuén	17	10	3	4

ciadas a humedales costeros. En total, las cuencas en esta categoría ocupan cerca de 22% del territorio nacional (Cuadro 5, Mapa 4).

En la categoría de prioridad alta se identificaron 70 cuencas que cubren cerca de 43% del país, entre las que se pueden mencionar las de los ríos Bravo, Balsas, Yaqui, Lerma-Chapala, Nazas y San Pedro. Cabe mencionar que estas cuencas también son relevantes por su diversidad de ecosistemas, especies y endemismos; sin embargo, están muy amena-

Prioridad	Nº de cuencas	%	Área (km²)	%
Extrema	18	4.58	420,595.36	21.70
Alta	70	17.81	828,241.76	42.73
Media	93	23.66	292,441.61	15.09
Baja	206	52.42	394,489.15	20.35
Muy baja	6	1.53	2,464.74	0.13
Totales	393	100.00	1,938,232.63	100.00

Cuadro 5. Número de cuencas y área total por categoría de prioridad y porcentaje con respecto al número total de cuencas y superficie del país.

zadas en las partes bajas, sobre todo en la vertiente del Golfo de México, donde han sufrido un fuerte deterioro por actividades antropogénicas, en particular por el cambio de uso de suelo para labores agropecuarias.

Es importante resaltar que, en conjunto, las cuencas de prioridad extrema y alta representan cerca de 65% del área total del territorio, lo cual es indicador de la compleja diversidad asociada a sus cuerpos de agua que alberga México; de ahí se desprende la importancia y necesidad de mantener la integralidad y conectividad de las cuencas para asegurar el abasto hídrico y la protección de nuestro capital natural.

CUENCAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN E IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS

El análisis de los impactos antropogénicos señaló que 80 cuencas, que cubren 11.74% del país, presentan un impacto antropogénico muy

Impacto	Nº de cuencas	%	Área (km ²)	%
Muy alto	80	20.36	227,434.25	11.74
Alto	138	35.11	944,086.20	48.72
Medio	171	43.51	759,407.18	39.19
Bajo	4	1.02	7,009.34	0.36
Totales	393	100.00	1,937,936.97	100.00

Cuadro 6. Número de cuencas y área total por categoría de impacto y porcentaje con respecto al número total de cuencas y superficie del país.

alto (> 75%, Cuadro 6). Éstas se concentran en la región del Golfo de México, donde se encuentran 15 de las 17 cuencas más impactadas, y que forman dos ejes hacia la parte centro y sur del país. Uno de estos ejes está constituido por las cuencas río Papaloapan, río Verde y varias de menor tamaño en la costa del Pacífico (laguna Tecomate, río La Arena, río Manialtepec). El otro eje llega hasta las zonas altas del centro y oriente del país a través de las cuencas de México, Lerma-Chapala y lago de Cuitzeo, hasta las de lago Atotonilco, lago Sayula y arroyo Piedra Ancha (Mapa 5).

Tan sólo cuatro cuencas en el país integran la categoría de menor impacto (< 25%). Todas ellas son de extensión reducida y se encuentran en la parte árida del noroeste, donde las cuencas de arroyo San José, arroyo Frío y arroyo El Varadero forman una zona continua en la península de Baja California. La cuenca arroyo El Tapón se localiza en la región del Alto Golfo de California.

Los resultados mostraron una correlación positiva entre el nivel de prioridad de las cuencas (todos los ambientes) y su nivel de impacto ($r_s = 0.42$, $p < 0.001$); en otras palabras, conforme aumenta el valor de importancia de las cuencas para la conservación, también se incrementa el nivel de impacto (Figura 2). Esto puede deberse dos razones: 1) A escalas gruesas es conocida la relación positiva entre la riqueza de especies y la población humana (véase Pautasso, 2007; Vázquez y Gaston, 2006) y 2) En análisis de priorización de áreas para la conservación, es recomendable usar como uno de los sustitutos de la biodiversidad a especies amenazadas o de distri-

bución restringida, ya que éstas requieren de acciones urgentes para su conservación (Margules y Pressey, 2000). En este caso, en el análisis de vacíos y omisiones de la biodiversidad de México, los elementos de la biodiversidad u objetos de conservación se seleccionaron con base en criterios de endemismo, restricción, estado de riesgo de extinción y presión por comercio internacional.

Así, las cuencas de prioridad extrema para la conservación muestran en promedio un índice de impacto de 67%, mientras que las cuencas de muy baja prioridad tuvieron el promedio de impacto más bajo (29.76%, Figura 2). El alto nivel de impacto en las cuencas prioritarias proviene principalmente del uso del suelo (45.1% del impacto), seguido por la infraestructura (16.6%). Respecto al uso del suelo, se puede notar que los pastizales para la ganadería son los que afectan en mayor medida a las cuencas de prioridad extrema. La agricultura de temporal presenta un porcentaje muy similar entre las cuencas de prioridad extrema, alta y media, mientras que la agricultura de riego tiene mayor peso en las cuencas de prioridad alta. En las cuencas de prioridad muy baja y baja la ausencia relativa de áreas agropecuarias es responsable de los valores bajos de impacto, debido a la relativamente moderada tasa de transformación. Conforme se incrementa la prioridad de las cuencas, el uso de suelo para fines agropecuarios disminuye y el porcentaje de vegetación en estado secundario se incrementa. Es pertinente aclarar que el modelo de impactos sólo toma en cuenta el área transformada para zonas urbanas, por lo que los impactos indirectos de éstas no se toman en cuenta al evaluar el nivel de impacto antropogénico en general.

Las cuencas son una unidad natural para el análisis, la planeación y el manejo de múltiples recursos; permiten el análisis de las relaciones entre el uso del suelo y los procesos hidrológicos, geomorfológicos y biológicos complejos, además de garantizar su uso y con-

servación, y por consiguiente, su renovabilidad (Montgomery *et al.*, 1995). Por ello, consideramos que la caracterización de las cuencas con base en los sitios prioritarios para la biodiversidad de los ambientes terrestre, acuático epicontinental y marino permite tener un marco de referencia integral relevante para la gestión de los recursos, en particular el agua, y la conservación de la diversidad biológica.

Los resultados de este análisis integral, que considera como unidad la cuenca, muestran algo ampliamente señalado en la literatura: el gran reto de lograr la conservación de la biodiversidad de México debido a su excepcional magnitud. Esto es ilustrado por el hecho de que los sitios prioritarios en todos los ambientes analizados son numerosos y abarcan una proporción importante de todo el país, lo cual es resultado de la enorme riqueza biológica y la heterogeneidad en su distribución espacial. Es decir, no existe una cuenca, independientemente de su tamaño, que concentre una alta proporción de toda la riqueza natural del país y que represente los distintos elementos de la diversidad que necesitan ser conservados. El país tiene una elevada diversidad beta, es decir, la biodiversidad se distribuye por todo el territorio (Koleff *et al.*, 2008); por ello, no es extraño que las cuencas de extrema y alta prioridad para la conservación de la biodiversidad cubran más de la mitad del territorio. Más aun, las cuencas prioritarias son también las más amenazadas, por lo que se deben incrementar los esfuerzos para asegurar su protección y mitigar los impactos de dichos factores de presión.

Ante este panorama, el manejo integral de cuencas cobra especial importancia al considerar la integración de los diferentes componentes naturales y sociales para el manejo adecuado de los recursos naturales. Además, representa una manera idónea para conjuntar herramientas de manejo y conservación que actúan sinérgicamente sobre la biodiversidad y los recursos hídricos.

FOTO: ALVARO FIGUEROA



IMPACTOS ANTROPOGÉNICOS A LA BIODIVERSIDAD





Lamentablemente, la visión a corto plazo que sigue rigiendo en el aprovechamiento de los recursos y la gestión del agua, basada en la infraestructura hidráulica, ha desviado el interés por la preservación de los ecosistemas terrestres y acuáticos —tanto epicontinentales como marinos, así como sus procesos naturales— sin considerar que el agua y otros servicios ambientales de vital importancia para el bienestar humano dependen en gran medida de los procesos funcionales físicos, químicos y biológicos que ocurren a nivel de cuenca (Escobar *et al.*, 2008) y de la salud de los ecosistemas. La funcionalidad de los procesos se mantiene gracias a las interacciones de las variadas especies y su interrelación con el ambiente abiótico. La crisis del agua tiene entre sus causas raíz la pérdida de la biodiversidad causada por la sobreexplotación de los recursos naturales, la deforestación y la contaminación, entre otros.

La interdependencia de la integralidad de los ecosistemas naturales y el estado de los recursos hídricos y los servicios ambientales como bien social, obligan a buscar instrumen-

tos que ayuden a vincular el manejo sustentable del capital natural y su conservación con el bienestar social. De cierto modo, la diversidad de México obliga a una estrategia basada en múltiples instrumentos. Una de las herramientas que se empiezan a esbozar es la determinación de caudales ecológicos. Otra herramienta, ya implementada, es el pago por servicios ambientales, en particular el hidrológico (PSAH), el cual es necesario ampliar, mejorar y continuar. Actualmente sólo 0.7% del territorio nacional está bajo el esquema de PSAH y los fondos del programa provienen en su mayoría del estado y no directamente de los usuarios del agua (Urquiza-Haas, 2009). Otra herramienta de conservación *in situ*, que fomenta el manejo adecuado de los recursos naturales, es la red de bosques certificados, en especial en las zonas altas de las cuencas, ya que ayuda a mantener la cobertura forestal y con ello la captación de agua, evitando además el trastorno en los patrones de escorrentía.

Este ejercicio de priorización de cuencas, basado en los sitios prioritarios, provee un marco de referencia para guiar y fomentar

diversas prácticas de aprovechamiento y manejo de recursos que sean amigables con el medio ambiente y capaces de mantener el capital natural, tanto en las zonas bajas de las cuencas, en las funciones ecológicas únicas (deltas y lagunas costeras) y en las zonas de inundación/retención de aguas, así como de concentrar esfuerzos de restauración y rehabilitación. También, es fundamental considerar cultivos apropiados a la vocación del suelo con técnicas de irrigación más sustentables, así como eliminar los subsidios (que se vuelven perversos) con relación al recurso hídrico. Por ejemplo, en México 80% del agua disponible para consumo es empleado para el riego de seis millones de hectáreas, y solo 38% es utilizado eficientemente (Olivera *et al.*, 2008).

La dimensión cultural del agua, poco reconocida en las estrategias y políticas de manejo de recursos, debe cambiar. En muchas ocasiones se tiene una visión que asume al agua meramente como un bien de uso y consumo. Esto ha ocasionado que no reciban beneficios directos las comunidades que tienen un manejo sustentable de los recursos en sus

territorios, en las que se captura una importante cantidad de agua (Boege, 2009).

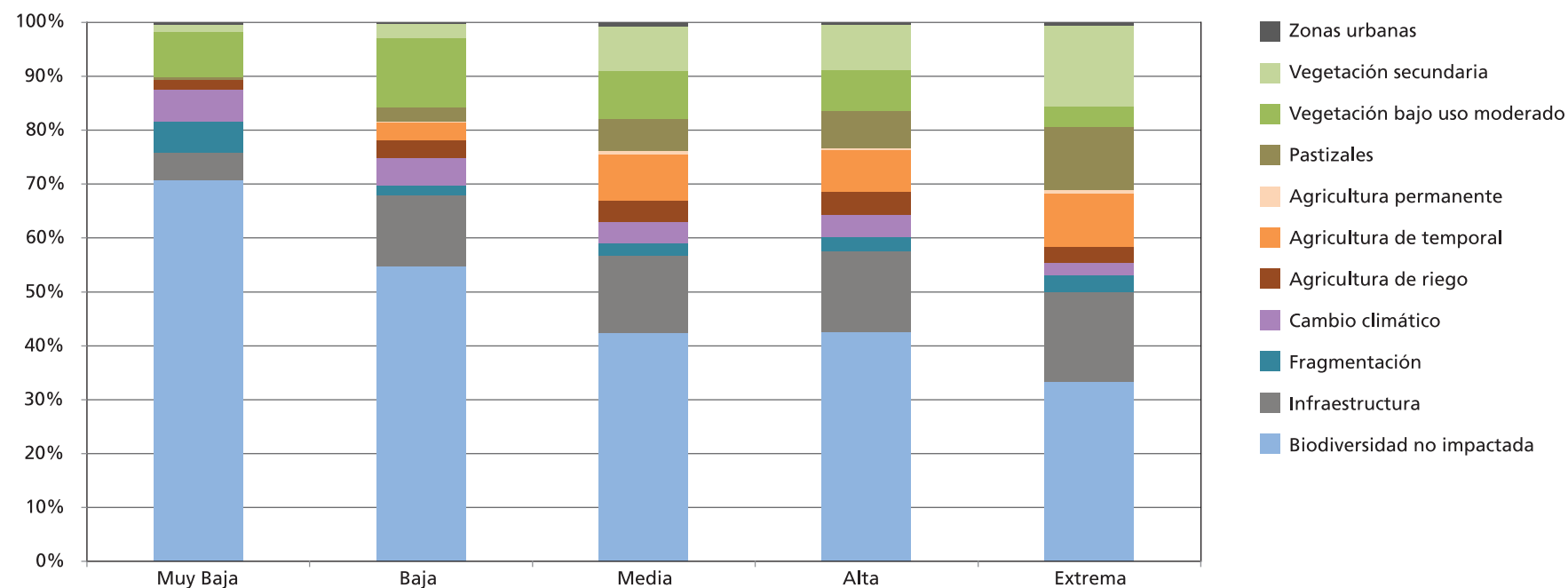
Considerar las cuencas como unidad básica de planeación para la gestión de los recursos naturales, especialmente ante la crisis ambiental actual, requiere de una visión holística y un enfoque multisectorial, integral, participativo, democrático y descentralizado, con sistemas institucionales capaces de gobernar sobre espacios delimitados por razones naturales, como son las cuencas hidrográficas (Cazorla-Clarisó, 2003). Sin embargo, ésto es difícil de alcanzar en la práctica ya que los sistemas de gobernabilidad y los instrumentos de gestión existentes no están contruidos con este enfoque.

En este sentido, Dourojeanni y Jouravlev (2002) destacan para América Latina varios aspectos y retos a resolver, que encontramos también en México; estos son: falta de voluntad para implementar políticas basadas en principios ambientales; instituciones que mantienen algunos roles obsoletos; actores locales que sólo están organizados sectorialmente, lo que entra en contradicción con la visión de gestión integral del territorio; participación en la toma de decisiones escasa y selectiva; e intervenciones de usuarios y actores externos que alteran los planes locales y regionales.

AGRADECIMIENTOS

A Helena Cotler y a su equipo por invitarnos a participar en esta publicación del INE, sobre todo a Arturo Garrido y María Luisa Cuevas, por el valioso apoyo que nos brindaron en los análisis multicriterio y en la realización de los mapas. También queremos expresar un agradecimiento muy especial a todos los participantes de los talleres y colaboradores de los análisis de vacíos y omisiones en conservación, en particular a Jesús Alarcón, Diana Hernández y Laura González de la Dirección Técnica de Análisis y Prioridades de la CONABIO.

Figura 2. Impacto antropogénico por categorías de prioridad general para la conservación de la biodiversidad de las cuencas del país.



CONFLICTOS SOCIOAMBIENTALES Y DETERIORO: UNA PRIMERA APROXIMACIÓN

MARÍA FERNANDA PAZ

DURANTE EL SIGLO XX, la mayor parte de los conflictos sociales en torno a los recursos y los territorios, tuvo como eje la lucha por su control. La revolución campesina de 1910, los incontables conflictos agrarios ocurridos a todo lo largo y ancho del territorio nacional, así como los enfrentamientos entre ejidatarios o comuneros y los concesionarios de los bosques, son una muestra clara de luchas por recuperar o mantener el control particular o colectivo, según el caso, de tierras, bosques y aguas.

Hacia las últimas décadas del siglo, con el desarrollo de la política ambiental y los cambios en las formas de administración y manejo de bosques, cuencas hidrográficas y pesquerías, comenzaron a multiplicarse los conflictos entre usuarios, poseedores y el Estado; a éstos denominamos aquí conflictos de gestión.

En el nuevo milenio, la posesión, el control y la gestión de recursos y territorios sigue siendo objeto de disputa entre actores diversos: sociales, privados y públicos; pero hoy observamos también, con mayor frecuencia, la emergencia de conflictos derivados del deterioro o del riesgo de deterioro ambiental y de los impactos de éste sobre los grupos

humanos: sobre su salud, sus actividades productivas, sus formas de organización social, su identidad cultural; en fin, sobre las muy particulares formas y condiciones de existencia que moldean la vida de las personas de este país.

Ya desde mediados de los años noventa comenzamos a ser testigos de esta nueva conflictiva social. La lucha en contra de la construcción del club de golf en Tepoztlán, Morelos, o del confinamiento de Guadalcazar en San Luis Potosí, por nombrar sólo dos de los casos más vistosos y publicitados en su momento, fueron sin duda los antecedentes de las movilizaciones sociales en contra del riesgo de deterioro ambiental y su posible impacto en la población. Hoy este tipo de conflictos no sólo se ha multiplicado sino que también se ha expandido a lo largo del país, mostrando que no se trata de casos aislados ni de movilizaciones que responden a coyunturas políticas, sino que son expresiones sociales que comparten, como eje articulador de sus demandas, la defensa de recursos, territorios y espacios de vida. Se cuentan entre ellos las luchas contra la minería en San Luis Potosí, Guerrero, Oaxaca y Chiapas; contra la construcción de presas en Jalisco, Nayarit, Colima y Guerrero; la oposición a la instala-

ción de rellenos sanitarios en sitios vulnerables en flagrante violación a la normatividad, como sucedió en Morelos, y de confinamientos de residuos peligrosos como el de Zimapán, Hidalgo, que no contaban con el permiso del municipio. Están, asimismo, las movilizaciones en Puebla, Tlaxcala, Distrito Federal, Jalisco, Morelos y Estado de México, contra la construcción de libramientos, carreteras estatales e interestatales, que amenazan destruir terrenos de cultivo, profanar sitios sagrados y/o fragmentar bosques templados en importantes zonas de captación de agua.

Los conflictos entre aquellos que buscan imponer un proyecto de apropiación de recursos y territorios, y aquéllos que se resisten y se defienden de él, han aumentado a tal punto que estos últimos hoy se agrupan a través de una estructura organizativa a nivel nacional; nos referimos a la Asamblea Nacional de Afectados Ambientales (ANAA) que surgió en el año 2008, y ha sesionado como tal en cinco ocasiones desde entonces. Desde esta Asamblea es desde donde estamos haciendo aquí un primer acercamiento a los conflictos socioambientales del país, reconociendo que no son todos, ni están tampoco representadas todas las regiones de México; no obstante, consideramos que éste es un buen punto de

partida para comenzar a tomar el pulso de la situación de forma directa.

Con una participación de más de cien comunidades de catorce estados del país, en la Asamblea Nacional de Afectados Ambientales han confluído hasta ahora los casos de resistencia arriba mencionados, y también aquellos en los que el deterioro ambiental y su impacto directo en la vida de la gente es el motivo fundamental de la querrela: contaminación de agua, aire, suelo y sus efectos en la salud; destrucción de bosques y tierras de cultivo; despojo de territorios y recursos; deterioro de los espacios de vida, son, en este primer recuento, los casos más frecuentes.

Desde la ANAA se registran conflictos entre pobladores, empresas y autoridades por la contaminación de los ríos y su impacto negativo en la salud humana, en las actividades agropecuarias y en la recreación. Están los casos de conflicto por la contaminación del río Atoyac, en Puebla y Tlaxcala y del río Alseseca en Puebla; del río Santiago en su paso por la zona metropolitana de Guadalajara, donde afecta a la población de los municipios de El Salto, Juanacatlán y Tonalá; del río Tizapa, en Veracruz y del Colotepec en Alpuyecá, Morelos. En todos ellos se tienen claramente identificadas las

fuentes de contaminación en las descargas de aguas residuales de corredores industriales, las aguas residuales municipales y los lixiviados de los vertederos de basura cercanos. A ellos se suman los casos de contaminación del río Cintalapa y del río Yayahuita, ambos en Chiapas, en los respectivos municipios de Cintalapa y Chicomuselo, donde las poblaciones identifican la actividad minera de la compañía canadiense Blackfire como una de las principales responsables.

La contaminación de barrancas con basura y descargas de aguas municipales es origen de conflicto entre pobladores y autoridades en los estados de Puebla y Morelos, así como también lo es la contaminación de tierras de cultivo en la zona de Perote, Veracruz donde operan las granjas porcícolas Carroll de la empresa estadounidense Smithfield.

La destrucción de bosques en áreas naturales protegidas o zonas de protección, por la construcción de fraccionamientos avalados por las propias autoridades locales, ha movilizó a los ciudadanos en Xalapa, Veracruz, en defensa de la Reserva de Zoncuantla y a los de la zona metropolitana de Guadalajara que se oponen a la destrucción, por las mismas causas, del bosque Nixticuil y el bosque de Los Colomos.

El desarrollo de zonas habitacionales en lo que otrora fueron terrenos de cultivo no sólo ha expandido sin planeación alguna la frontera urbana, sino asimismo ha causado serios estragos sobre la población de pueblos originarios en Puebla y Morelos al sobreexplotar los pozos de agua que tradicionalmente habían surtido a estas comunidades. A esta situación que se vive como despojo, se oponen los pobladores de estas zonas.

Mencionemos por último que los conflictos socio ambientales no son privativos de los ámbitos rurales. El deterioro del entorno urbano con la pérdida de edificios históricos, la proliferación de supermercados en lugar de parques y el trazo de nuevas vialidades y rutas de transporte, se han venido convirtien-

do en causas de conflicto socioambiental en centros urbanos como Tlaxcala, Cuernavaca y la Ciudad de México.

Los casos aquí presentados por supuesto no son todos y, sin embargo, ya son muchos. No podemos ignorarlos, no podemos considerarlos excepciones y anomalías. Tampoco pueden seguir siendo atribuidos a fallas en los

mecanismos de diálogo y negociación entre las partes pues, en su gran mayoría, no son producto de intereses divergentes. Sin duda el fenómeno va mucho más allá. Desde una mirada sociológica, nos invitan a analizar la dinámica social total; es decir, los procesos económicos, sociales, políticos y culturales que la conforman y conforman también la

relación con el medio ambiente. Desde las ciencias naturales, nos llevan a preguntarnos sobre las condiciones de los recursos y los ecosistemas, tanto como producto de los procesos sociales, como generadoras de conflictos. Es desde ahí desde donde hemos querido hacer una primera aproximación al tema, en un esfuerzo por comenzar a documentarlo.



MAPA ELABORADO POR ROLANDO ESPINOSA HERNÁNDEZ

INSTRUMENTOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DE APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES POR ZONA FUNCIONAL



INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA E INICIATIVAS DE ACCIÓN SOCIAL

JUAN BEZAURY CREEL Y CARLOS ENRÍQUEZ GUADARRAMA

MÉXICO AÚN CARECE de una política pública (y sus instrumentos correspondientes) que facilite el manejo integrado de sus cuencas hídricas. Es por esto que los esfuerzos para lograr el

manejo de los recursos naturales en sus cuencas generalmente se enfrentan tanto a políticas sectorizadas incompatibles, como a ámbitos jurisdiccionales diferentes, y en muchas ocasiones en franco conflicto. Esta situación tiene como resultado la aplicación de programas, proyectos y acciones que aparentemente cubren los requerimientos individuales de algunos nichos administrativos de una gestión gubernamental sectorizada y dispersa, aunque definitivamente no satisfacen los criterios para una gestión integrada de los recursos naturales de una cuenca en beneficio de la sociedad.

No obstante esta carencia estructural, dos conjuntos de instrumentos de la política ambiental, y sus iniciativas equivalentes en el ámbito de la acción social, ofrecerían elementos, que a falta de una política pública integrada y sus instrumentos, podrían apoyar un

mejor manejo de las cuencas. El primero abarca aquellos relativos tanto al ordenamiento del territorio como a los aprovechamientos de recursos naturales, y el segundo a aquellos relacionados con los espacios dedicados a la conservación y uso sustentable de la biodiversidad. Estos instrumentos e iniciativas, al evitar la disminución de la cobertura forestal, contribuyen a un buen manejo de las cuencas hídricas, ya que favorecen la retención del agua dentro del territorio de la cuenca, extendiendo su disponibilidad a lo largo del año, reduciendo el volumen de los flujos catastróficos durante eventos meteorológicos extremos, favoreciendo la recarga de los acuíferos, evitando la erosión y degradación de los suelos y disminuyendo los costos del tratamiento del agua para consumo humano.

INSTRUMENTOS E INICIATIVAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES (CUADRO 1)

El ordenamiento ecológico del territorio (OET) en sus modalidades regional y local (véase en

DVD adjunto) constituye un instrumento de política ambiental que puede facilitar el ordenamiento de las cuencas o subcuencas hídricas en México. No obstante, a la fecha sólo en un muy limitado número de casos este instrumento ha sido utilizado con este enfoque,

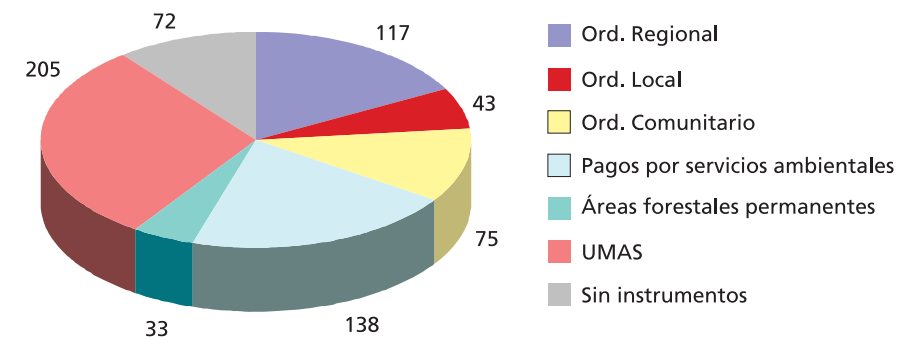
resaltando los OET de los ríos Coapa y Zanatenco en Chiapas, la laguna de Cuyutlán en Colima, Valle de Bravo-Amanalco en el estado de México, el río Tepalcatepec en Michoacán y el río Bobos en Veracruz. Su modalidad social, el Ordenamiento

CUADRO 1. COBERTURA DE INSTRUMENTOS E INICIATIVAS DE POLÍTICA PÚBLICA Y ACCIÓN SOCIAL PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES EN MÉXICO

INSTRUMENTO	Superficie terrestre (Ha)	% Superficie terrestre de México	Fuente Base de Datos SIG
Ordenamiento Ecológico del Territorio Regional (con cobertura estatal)	30,316,116	15.43	SEMARNAT-DGPAIR 2008a
Ordenamiento Ecológico del Territorio Regional (con cobertura sub estatal)	6,117,006	3.11	SEMARNAT-DGPAIR 2008a
Ordenamiento Ecológico del Territorio Local	3,558,372	1.81	SEMARNAT-DGPAIR 2008b
Ordenamiento Comunitario del Territorio (OCT) (superficie mínima total)	3,021,863	1.54	González <i>et al.</i> , 2008
Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMAS, intensivas y extensivas) Predios con Áreas Forestales Permanentes	33,150,000	16.88	SEMARNAT-DGVS 2008 y 2010
Aprovechamientos Forestales Sustentables Certificados por el Forest Stewardship Council (FSC) (Superficie total del predio incluyendo aquella no forestal)	3,070,435	1.56	Bezaury <i>et al.</i> 2008a y 2008b
Programa de Pagos por Servicios Ambientales (Proarbol-CONAFOR)	2,244,000	1.14	CONAFOR 2009a y 2009b

Nota: Se presenta sobreposición de diferentes instrumentos sobre algunas unidades territoriales.

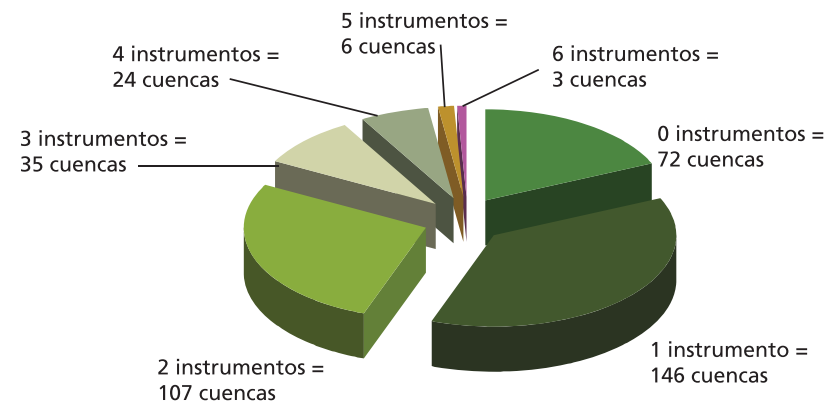
Figura 1. Número de cuencas hidrográficas en las que se presentan iniciativas de ordenamiento territorial e instrumentos para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales.



Comunitario del Territorio (OCT, véase en DVD adjunto) —iniciativa que aún no está reconocida dentro de los esquemas oficiales de ordenamiento territorial— ha sido adoptada exitosamente por comunidades tradicionales en los estados de Oaxaca, Guerrero y Michoacán. Los OCT y los programas de pagos por servicios ambientales hidrológicos (véase en DVD adjunto), constituyen iniciativas que se desarrollan independientemente, a nivel predial, y que contribuyen a estabilizar la frontera agrícola de algunas porciones de las cuencas. Los espacios donde se realizan aprovechamientos sustentables de recursos naturales también

contribuyen al mantenimiento de la cobertura forestal, como sucede con las Unidades de Manejo para el Aprovechamiento de la vida silvestre¹ (UMA, véase en DVD adjunto), las que presentan su mayor cobertura numérica y territorial en ecosistemas del semidesierto del norte del país, las zonas forestales permanentes de los ejidos productores forestales de Quintana Roo y Campeche, y los predios certificados por el Forest Stewardship Council (véase en DVD), en los cuales el aprovechamiento forestal es certificado por un tercero independiente, y se presentan principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Oaxaca y Quintana Roo.

Figura 2. Iniciativas de ordenamiento territorial y número de instrumentos para el aprovechamiento sustentable de recursos naturales por cuenca hídrica.



INSTRUMENTOS E INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES (CUADRO 2)

La presencia de instrumentos e iniciativas de conservación ha demostrado ser un elemento relativamente eficiente para la disminución de la tasa de cambio de uso del suelo en algunas regiones de México (Figuroa y Sánchez Cordero, 2008; Durán *et al.*, 2007). Estos instrumentos incluyen las áreas naturales protegidas (ANP) gubernamentales de los tres niveles de gobierno: federal, de las entidades federativas (estatal y del Distrito Federal) y municipal (véanse las tres en DVD adjunto), así como a los humedales designados por nuestro país en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de Ramsar (véase en DVD). En muy contados casos, las ANP mexicanas han sido diseñadas bajo un enfoque de cuenca; entre ellas destacan varias ANP federales creadas durante la década de los 30's del siglo XX, algunas de las cuales actualmente están siendo recategorizadas para recobrar su vigencia legal. Entre éstas se pueden mencionar a las áreas de protección de recursos naturales “Cuencas de los Ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec” en los estados de México y Michoacán, y la “Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa” en Puebla e

Hidalgo. Ejemplos más recientes del uso de un enfoque de cuenca en ANP de carácter estatal, incluyen a los “Santuarios de agua” establecidos en el estado de México o algunas áreas del estado de Guanajuato que incluyen: la “Reserva de Conservación Cuenca de la Esperanza”, las áreas de uso sustentable “Cuenca Alta del Río Temascalatio”, y “Presa La Purísima y su Zona de Influencia”, así como las zonas de restauración ecológica “Laguna de Yuriria y su Zona de Influencia”, y “Presa Neutla y su Zona de Influencia”.

Por otro lado, las iniciativas de acción social, por su propia naturaleza, se desarrollan a nivel predial, e incluyen tanto a las áreas dedicadas voluntariamente a la conservación (véase en DVD) —las cuales son consideradas como ANP de interés de la Federación a través de su certificación por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas— como aquellas reservas comunitarias y privadas (véase en DVD) cuyos propietarios han decidido no incorporarlas dentro de esquemas de reconocimiento oficial.

En la Figura 3 se indica el número de cuencas en las que se presentan instrumentos e iniciativas de conservación y uso sustentable, pudiéndose presentar más de un instrumento por cuenca; esta situación se refleja en la Figura 4 que indica el número de instrumentos presentes en cada cuenca. De un total de 393 cuencas, el 71% presenta cuando menos un instrumento.

En este ejercicio se aglutinan una variedad de instrumentos e iniciativas, que presentan grandes diferencias en cuanto a su nivel de efectividad para regular el uso del suelo y/o las actividades productivas, así como una gran variabilidad en cuanto a su vigencia temporal o la magnitud de su cobertura territorial. A manera de ejemplo, podemos afirmar que las ANP federales son actualmente el instrumento de política ambiental más sólido y con mayor capacidad administrativa sobre el territorio en México, situación aún no alcanzada

CUADRO 2. COBERTURA TERRITORIAL DE LOS INSTRUMENTOS E INICIATIVAS DE POLÍTICA PÚBLICA Y ACCIÓN SOCIAL PARA LA CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE DE RECURSOS NATURALES EN MÉXICO			
INSTRUMENTO	Superficie terrestre (Ha)	% Superficie terrestre de México	Fuente Base de Datos SIG
ANP Federales (Menos ADVC*)	16,357,121	8.33	Bezaury <i>et al.</i> , 2009a
ANP Estatales y del D.F. (Excluye sobreposición con ANP Federales)	3,175,826	1.62	Bezaury <i>et al.</i> , 2009b
ANP Municipales (Excluye sobreposición con ANP Estatales y del DF)	167,194	0.09	Bezaury <i>et al.</i> 2009b
Humedales Inscritos a la Convención Ramsar	5,756,504	2.93	CONANP, 2009
Áreas Dedicadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC, las cuales se consideran ANP Federales certificadas)	243,331	0.12	Bezaury <i>et al.</i> , 2008c
Reservas privadas, sociales o gubernamentales con apoyo privado (superficie mínima total)	841,435	0.43	Bezaury <i>et al.</i> , 2008d

Nota: Se presenta sobreposición de diferentes instrumentos sobre algunas unidades territoriales.

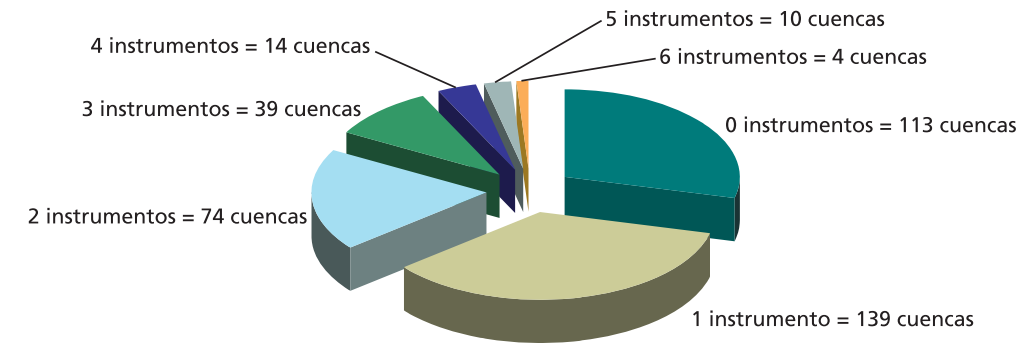
por las ANP de las entidades federativas y de los municipios o por los humedales adscritos a la Convención Ramsar. Dentro de un mismo instrumento también se puede presentar una amplia gama de variabilidad en cuanto a su robustez legal, como es el caso de los OET. En ellos se pueden encontrar aquellos que presentan una baja capacidad regulatoria, tales como los OET regionales con cobertura estatal (con muy bajo grado de definición), o aquellos OET que solamente definen las políticas ecológicas y las unidades de gestión ambiental, obviando la especificación de los criterios ecológicos aplicables en ellas. En el otro extremo se encuentran algunos OET regionales con cobertura sub-estatal, o aquellos OET locales que presentan una mayor definición regulatoria. En cuanto a la vigencia temporal, existe diversidad; podemos resaltar a las ANP que presentan una mayor longevidad regulatoria; en tanto el programa de pagos por servicios ambientales presenta un horizonte de cinco años de vigencia para los incentivos otorgados; por último, las iniciativas sociales suelen tener un plazo indefinido. Hay que señalar además que existen diferencias de varios órdenes de magnitud en cuanto a la

superficie abarcada por las diferentes cuencas hidrográficas, situación que complica su comparación.

No obstante estas limitaciones, resulta interesante analizar la sobreposición de los instrumentos e iniciativas sobre el territorio de las cuencas. Se observa que el 92% de ellas presenta cuando menos alguno de estos instrumentos (Figura 5), y sólo 32 cuencas no presentan ninguno. Las cuencas con mayor variedad de instrumentos e iniciativas son: río Balsas y península de Yucatán con 12, Grijalva-Usumacinta y río Santiago con 11 y Lerma-Chapala, río Pánuco, río Baluarte, río Papaloapan y río Presidio con 10. (La información individual de las cuencas puede ser consultada en el DVD anexo.)

La ubicación de los instrumentos e iniciativas en las diferentes zonas funcionales de las cuencas repercute tanto en su capacidad y efectividad para mantener la cobertura vegetal y las condiciones del flujo del agua en las cuencas, como en la posibilidad de mitigar los efectos negativos de las alteraciones al sistema. Por ejemplo, la existencia de una ANP en la zona funcional alta favorece el mantenimiento de los flujos para el resto de la cuenca,

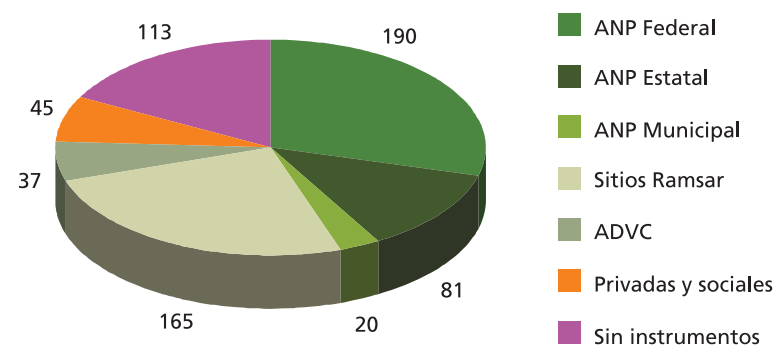
Figura 4. Número de Instrumentos e Iniciativas de Conservación y Uso Sustentable de Recursos Naturales por Cuenca Hídrica.



mientras que una ANP en la zona baja de la cuenca no asegura que estos ecosistemas puedan realmente mantenerse, ya que los flujos de agua estarán sujetos a consumo, contaminación y fragmentación temporal desde la zonas alta y media de la cuenca. Por otro lado, las iniciativas de ordenamiento territorial y de aprovechamiento sustentable de recursos naturales presentan una mayor cobertura territorial que aquellas destinadas a la conservación y uso sustentable de recursos naturales en las diferentes zonas funcionales de las cuencas hídricas (Cuadro 3 y Mapas 1 y 2).

Agrupando a las cuencas en conjuntos con una definición menos fina y muy similar a las Regiones Hidrológicas que utiliza la Comisión Nacional del Agua, se observa que en la actualidad la cobertura de los diversos instrumentos e iniciativas en las diferentes zonas funcionales de las cuencas es prácticamente homogénea para aquellos relacionados con el ordenamiento territorial y los aprovechamientos (alta 26.8%, media 25.2%, baja 26.2%), mientras que para aquellos relacionados con la conservación y uso sustentable es ligeramente mayor en la zona alta que en la media

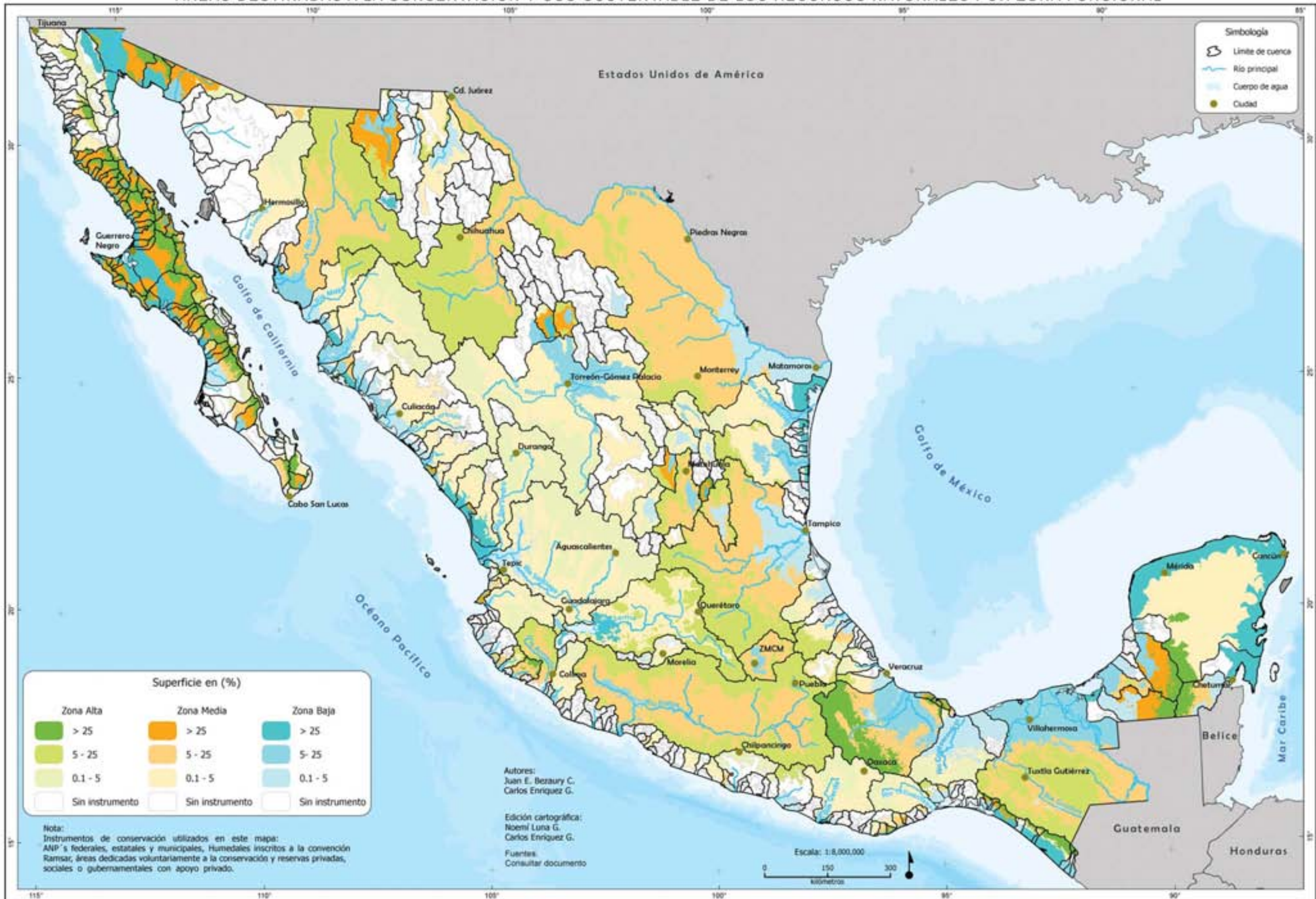
Figura 3. Número de cuencas hídricas en las que se presentan instrumentos e iniciativas de conservación y uso sustentable de recursos naturales.



CUADRO 3. CUENCAS CON COBERTURA TERRITORIAL DE LOS INSTRUMENTOS E INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN Y ORDENAMIENTOS DE RECURSOS NATURALES Y PORCENTAJE QUE ESTAS REPRESENTAN POR ZONA FUNCIONAL.

	Superficie de instrumentos e iniciativas de ordenamiento territorial y de aprovechamiento por zona funcional						Superficie de espacios destinados a la conservación y uso sustentable por zona funcional					
	Zona Alta		Zona Media		Zona Baja		Zona Alta		Zona Media		Zona Baja	
	# Cuencas	%	# Cuencas	%	# Cuencas	%	# Cuencas	%	# Cuencas	%	# Cuencas	%
Superficie cubierta por algún instrumento (%)												
0	96	24.4	106	26.9	149	37.9	198	50.3	212	53.9	162	41.2
.01-1	16	9.6	25	11.9	16	10.1	27	7.8	37	7.1	38	9.4
1.01-5	37	4	47	6.3	40	4	31	6.8	28	9.4	37	9.6
5.01-20	63	16	52	13.2	30	7.6	38	9.6	32	8.1	52	13.2
20.01-50	54	13.7	36	9.1	29	7.3	24	6.1	19	4.8	40	10.1
> 50	127	32.3	127	32.3	129	32.8	75	19	65	16.5	64	16.2
Sup. de los instrumentos e iniciativas (ha)	18,193,197		22,476,038		9,587,928		7,881,696		8,478,217		5,849,224	

ÁREAS DESTINADAS A LA CONSERVACIÓN Y USO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES POR ZONA FUNCIONAL



y sustancialmente superior en la zona funcional baja (alta 11.6%, media 9.5%, baja 16.0%) (Cuadro 4).

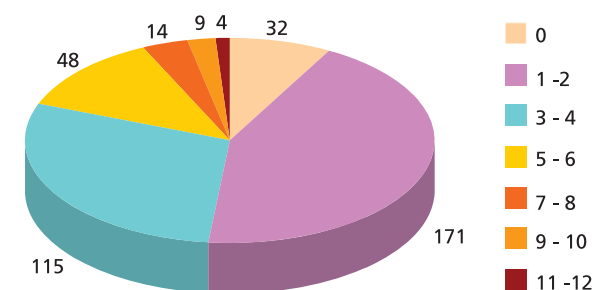
La superficie cubierta por instrumentos e iniciativas de ordenamiento territorial y de aprovechamiento alcanza un rango entre 50.1 y 100% en el 24% de las regiones hidrológicas; entre el 20.1 y 50% en el 35% de éstas; entre el 5.1 y 20% en el 27% de las mismas y entre 1.1 y 5% en el 14% de las regiones. En el caso de aquellos relacionados con la conservación y uso sustentable, la cobertura territorial alcanza un rango de entre el 50.1 y 100% de la superficie solamente en el 5% de las regiones hidrológicas; de entre el 20.1 y 50% en el 14% de éstas; entre el 5.1 y 20% en el 51% de las regiones; entre 1.1 y 5% en el 22 % de las mismas; y entre .01 y 1% en el 8% de estas regiones (Cuadro 4). En términos generales, resalta una mayor cobertura de instrumentos en las penínsulas de Baja California y Yucatán y una cobertura más escasa en las cuencas endorreicas del norte del país. (Ver Mapas 1 y 2).

Podemos observar que en el diseño de los instrumentos e iniciativas presentadas en este apartado, sólo en contadas ocasiones se ha utilizado explícitamente un enfoque que concibe las cuencas hidrográficas como una unidad geográfica coherente para su gestión integral. Mucho menos se ha planteado un modelo que procure la integración de las diversas medidas de ordenamiento, conservación y aprovechamiento de los recursos. Muy ocasionalmente, instrumentos gubernamentales tales como los programas de ordenamiento ecológico y las áreas naturales protegidas han utilizado el enfoque de cuenca. Por su parte, el carácter casuístico, individual y con cobertura geográfica a nivel predial de las iniciativas sociales complica la adopción de una visión a nivel de cuenca. No obstante esta realidad, es urgente la adopción de un enfoque común que permita la integración de los diferentes instrumentos, utilizando las

cuencas hídricas como elemento de integración espacial funcional. Esta integración —con la posible excepción de subcuencas muy pequeñas en donde una acción social colectiva podría conjuntar un número suficiente de iniciativas capaces de permitir su manejo integral— requiere necesariamente del liderazgo del Estado Nacional y de los gobiernos locales. Esto permitiría planificar y crear sinergias positivas entre los diversos instrumentos e iniciativas, conforme a las características propias de cada región y las idiosincrasias locales. La construcción de una política pública explícita en México que promueva un verdadero manejo integrado de sus cuencas hidrográficas, debe partir de una interacción positiva entre los diferentes instrumentos e iniciativas de política pública y acción social ya existentes, para ser posteriormente complementada tanto con la creación de los instrumentos legales y reglamentarios que en su caso sean requeridos, como de la creación de incentivos que fomenten el desarrollo y consolidación de las iniciativas de acción social correspondientes.

1 No obstante que en SEMARNAT-DGVS 2010 se indica una superficie total de 33,150,000 ha que han sido incorporadas al SUMA, esta base de datos (que fue utilizada para realizar los análisis contenidos en esta publicación) incluye solamente a las 9,871,504 ha que han sido georeferenciadas.

Figura 5. Número total de instrumentos de ordenamiento territorial e iniciativas de conservación y uso sustentable de recursos naturales por cuenca hidrográfica.



CUADRO 4. PORCENTAJE DE COBERTURA TERRITORIAL DE LOS INSTRUMENTOS E INICIATIVAS EN LAS CUENCAS AGRUPADAS POR REGIÓN HIDROLÓGICA

Región Hidrológica que incluye a las Cuencas	Instrumentos e Iniciativas de Ordenamiento Territorial y para el Aprovechamiento en las Cuencas				Instrumentos e Iniciativas de Conservación y Uso Sustentable en las Cuencas			
	Zona Funcional Alta	Zona Funcional Media	Zona Funcional Baja	Total Cuenca	Zona Funcional Alta	Zona Funcional Media	Zona Funcional Baja	Total Cuenca
1- B.C. Noroeste	100.0	100.0	99.6	100.0	14.6	10.0	14.4	12.0
4- B.C. Noreste	100.0	100.0	99.8	99.9	4.1	1.7	44.7	15.6
15- Costa de Jalisco	100.0	100.0	99.6	99.9	13.2	2.6	4.8	6.7
16- Armeria-Coahuayana	97.5	90.4	90.5	93.7	8.9	3.8	1.7	6.0
14- Río Ameca	90.1	66.6	50.2	77.5	3.5	3.4	3.3	3.4
32- Yucatán Norte	45.2	71.4	69.8	69.2	26.8	4.3	28.0	13.7
5- B.C. Centro-Este	66.3	65.4	63.3	65.5	74.3	75.5	68.2	73.9
12- Lerma-Santiago	53.0	69.5	45.9	59.7	7.8	2.3	10.7	5.6
6- B.C. Sureste	57.8	58.9	51.8	57.0	30.0	14.7	7.6	19.7
33- Yucatán Este	20.4	67.2	45.4	45.8	28.6	3.3	26.9	20.4
29- Coatzacoalcos	42.4	21.3	53.4	44.2	3.3	1.0	0.1	1.2
2- B.C. Centro-Oeste	57.6	41.8	18.3	40.2	90.0	92.9	95.6	92.7
7- Río Colorado	29.7	13.2	60.9	38.5	37.2	29.0	35.0	33.8
13- Río Huicicila	49.0	40.2	14.6	37.1	16.0	12.6	20.8	15.4
26- Pánuco	58.5	31.2	7.1	36.1	16.2	15.1	1.9	13.0
21- Costa de Oaxaca	32.8	40.5	23.8	34.7	2.3	7.4	20.4	7.5
3- B.C. Suroeste	54.6	30.7	20.7	34.0	47.5	23.5	4.9	23.7
18- Balsas	43.0	25.4	26.8	33.2	11.7	6.6	9.2	8.9
30- Grijalva-Usumacinta	7.0	13.1	62.4	28.6	20.5	20.0	19.2	19.9
17- Costa de Michoacán	9.7	34.2	78.7	27.9	0.0	0.0	1.8	0.2
22- Tehuantepec	31.2	28.7	0.4	24.2	1.5	1.0	0.3	1.1
11- Presidio-San Pedro	29.3	14.5	19.2	21.8	0.8	1.2	41.4	6.4
8- Sonora Norte	20.5	19.8	11.2	18.8	4.3	10.0	33.3	11.3
27- Norte de Veracruz	26.0	10.9	14.6	16.9	5.0	2.2	2.9	3.3
9 - Sonora Sur	13.4	16.4	3.8	13.7	14.0	5.7	7.5	9.5
19- Costa Grande de Guerrero	20.3	7.7	3.5	11.6	0.3	0.8	0.0	0.4
20- Costa Chica de Guerrero	16.7	9.2	2.3	11.4	1.4	0.1	0.7	0.7
24- Bravo-Conchos	5.4	13.2	12.3	10.7	5.4	11.9	3.6	9.2
28- Papaloapan	20.8	9.1	0.5	10.6	24.9	8.7	17.0	16.9
23- Costa de Chiapas	14.0	5.6	10.4	10.4	43.0	10.6	26.5	27.6
31- Yucatán Oeste	8.2	17.4	0.5	10.1	38.2	33.5	6.5	27.6
10- Sinaloa	11.0	4.2	8.9	7.3	1.0	2.8	12.5	3.8
25- San Fernando-Soto la Marina	5.6	6.2	2.4	4.8	3.5	0.9	17.1	6.7
34- Cuencas Centrales del Norte	6.0	2.2	3.0	3.6	3.8	9.2	4.8	6.6
35- Mapimi	2.4	3.1	4.1	3.1	1.4	4.5	6.5	3.6
36- Nazas-Aguanaval	4.7	2.5	0.0	2.9	0.3	1.7	5.8	1.9
37- El Salado	1.8	1.9	2.3	1.9	4.9	4.9	3.1	4.6
% Total con instrumentos o iniciativas	26.8	25.2	26.2	25.9	11.6	9.5	16.0	11.5
Sup. con instrumentos/ iniciativas (ha)	18,193,197	22,476,038	9,587,928	50,257,163	7,881,696	8,478,217	5,849,224	22,209,137
Superficie por zona funcional (ha)	67,966,980	89,258,991	36,567,871	193,793,842	67,966,980	89,258,991	36,567,871	193,793,842

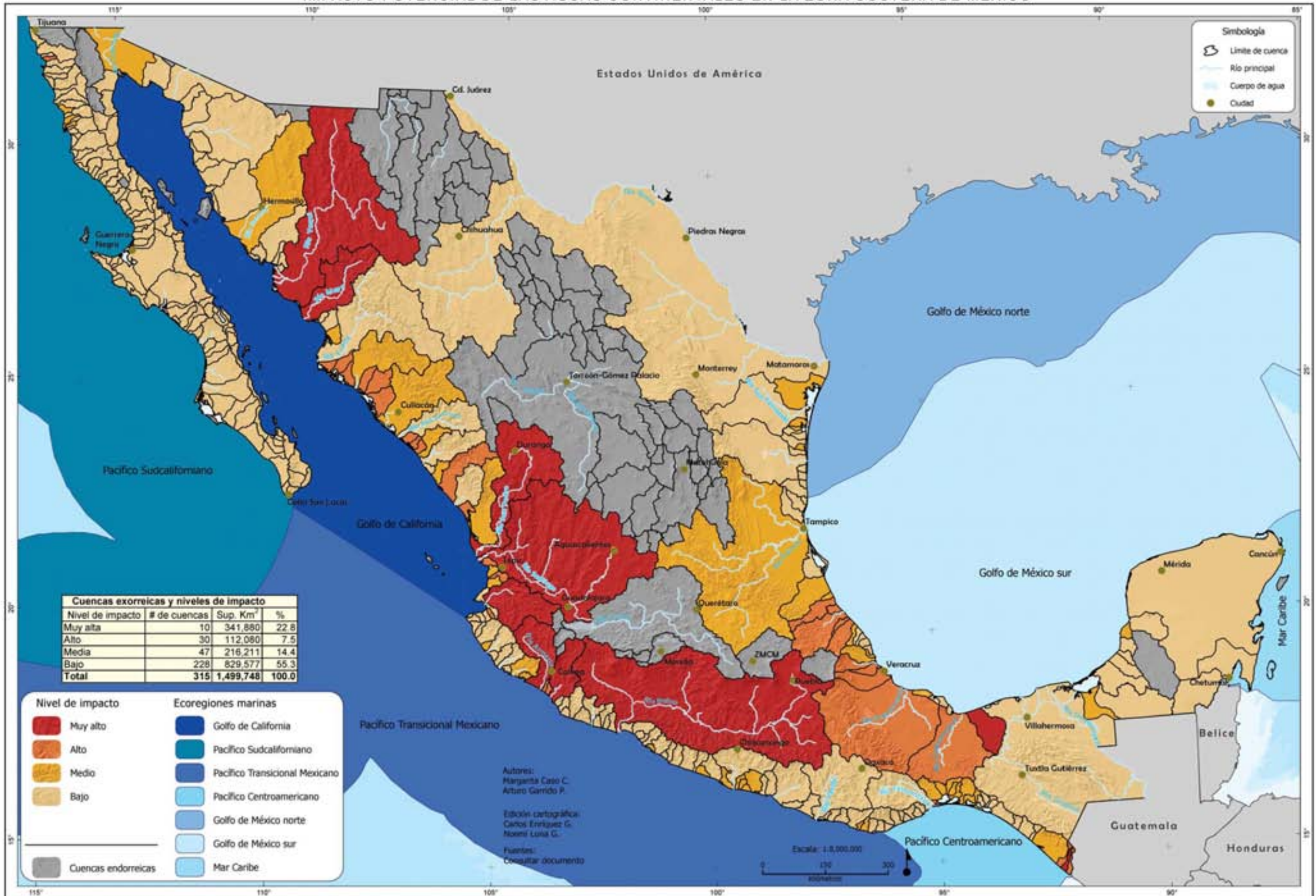
cuatro

INTERACCIÓN TERRESTRE- COSTERA-MARINA

LOS RÍOS RECORREN Y ATRAVIESAN EL TERRITORIO de las cuencas acarreando nutrientes, sedimentos y compuestos orgánicos que enriquecen y nutren los ecosistemas costeros y marinos, incrementando su riqueza y productividad. Pero estos mismos ríos también transportan contaminantes —resultado de todas las actividades productivas realizadas en el territorio y del inadecuado tratamiento de las aguas residuales— provocando fenómenos de hipoxia y eutrofización en nuestros mares.



IMPACTO POTENCIAL DE LAS AGUAS CONTINENTALES EN LA ZONA COSTERA DE MÉXICO



Nivel de impacto	# de cuencas	Sup. Km ²	%
Muy alta	10	341,880	22.8
Alto	30	112,080	7.5
Media	47	216,211	14.4
Bajo	228	829,577	55.3
Total	315	1,499,748	100.0

Nivel de impacto		Ecoregiones marinas	
 Muy alto	 Golfo de California	 Pacífico Sudcaliforniano	 Golfo de México sur
 Alto	 Pacífico Transicional Mexicano	 Pacífico Centroamericano	 Golfo de México norte
 Medio	 Mar Caribe		
 Bajo			
 Cuencas endorreicas			

Autores:
Margarita Caso C.
Arturo Garrido P.

Edición cartográfica:
Carlos Enriquez G.
Noemi Lusa G.

Fuentes:
Consultar documento

Escala: 1:8,000,000

0 170 300
kilómetros

IMPACTO POTENCIAL DE LAS AGUAS CONTINENTALES EN LA ZONA COSTERA DE MÉXICO

MARGARITA CASO Y ARTURO GARRIDO

LA UNIDAD BÁSICA para la administración del agua es la cuenca hidrográfica. Esta unidad geográfica, en la que prevalecen los límites funcionales (naturales) sobre los administrativos y jurídicos, es fundamental para el manejo de los recursos naturales pues conduce a un enfoque integrado del suelo, el relieve, la vegetación, el aire y el agua con las condiciones socio-económicas.

Siendo la cuenca un sistema complejo y abierto, con interacciones sistémicas hacia el interior de sus límites y hacia el exterior, resulta importante identificar los posibles impactos que las cuencas y su dinámica territorial tienen sobre otros sistemas naturales, en concreto, el mar y particularmente las zonas costeras y los ambientes contiguos a las desembocaduras de las cuencas.

Las costas y mares son el receptáculo final de las cuencas hídricas de tipo exorreico; éstos reciben el efecto acumulado de lo que se genera en el territorio de las cuencas a través de la carga que los ríos traen consigo desde cuenca arriba.

La red fluvial se encarga de drenar, transportar y depositar, a lo largo y ancho de las

cuencas, toda clase de materiales y compuestos derivados de la erosión fluvial natural, así como de las actividades humanas en el continente. Las cuencas cumplen una de las funciones más relevantes del ciclo hidrológico: llevar las aguas continentales hacia los mares, dónde el ciclo hídrico continúa (Figura 1).

Debido a la funcionalidad de las cuencas, muchos de los problemas que impactan las zonas costeras y que determinan su estructura y función, provienen de las actividades que se realizan en las partes altas de las cuencas. Estos impactos se derivan de procesos como la deforestación, la erosión y el cambio de uso de suelo, el mal manejo de tierras, el consumo de agua y su contaminación, la irrigación inadecuada de áreas de cultivo, el represamiento y trasvase de ríos, entre otros; de ahí que sea fundamental incluir los ecosistemas costeros en el marco del manejo integrado de una cuenca, y a las cuencas hidrográficas en el manejo integrado de la zona costera (Figura 2).

Existen diferentes definiciones de zona costera; algunas se basan en límites físicos (influencia de la marea), otras en aspectos políticos y jurídicos (municipios) o en aspectos

funcionales (parteaguas de la cuenca). Sin embargo, la definición más aceptada enfatiza las interacciones que se producen desde el océano hasta el parteaguas de la cuenca, por lo que considera tanto a las cuencas tierra adentro como a la línea costera con sus formaciones particulares (dunas, lagunas costeras, playas), las aguas costeras y estuarinas, y el océano hasta la plataforma continental (Moreno Casasola, 2006). La SEMARNAT (2000) propuso la siguiente definición: “La zona costera es la porción de territorio desde el límite marino de la plataforma continental y mar territorial, hacia el mar, hasta los límites geopolíticos de los municipios que tienen frente litoral o están contiguos tierra adentro”.

En la zona costera hay una gran diversidad de ecosistemas; sin embargo, para el presente análisis, los ecosistemas lagunares-estuarinos resultan de especial importancia debido a que los estuarios son las zonas en las que el agua de mar se diluye significativamente con el agua dulce proveniente del drenaje terrestre (Pritchard, 1967). Estos ecosistemas constituyen un porcentaje elevado de las costas del mundo; México por ejemplo tiene como parte

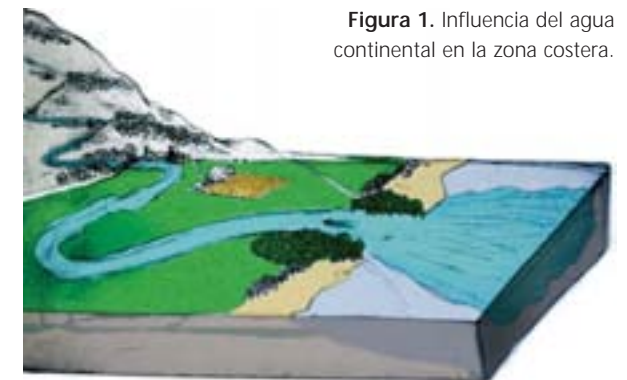


Figura 1. Influencia del agua continental en la zona costera.



Figura 2. Desembocadura de los ríos González, Grijalva, San Pedro y San Pablo al Golfo de México (Imagen Landsat del 31 de julio de 2008, 16:32 h). En esta imagen se pueden apreciar las plumas de la descarga de los ríos (tonalidades verdes) en las aguas costeras aledañas.



de su litoral del 30 al 35% de estuarios y lagunas costeras en el Pacífico, Golfo de México y Caribe (Yáñez-Arancibia, 1986).

Los ecosistemas lagunares estuarinos, junto con los bosques tropicales y los arrecifes de coral, están entre los ecosistemas más productivos del mundo. Son ecotonos costeros que se caracterizan por sus gradientes de salinidad y temperatura y su abundante concentración de nutrientes. Se trata de ecosistemas dinámicos, complejos, con muchas fronteras, en los que hay grandes variaciones de salinidad, nutrientes, temperatura, oxígeno disuelto y sustratos; con patrones de circulación determinados por la geomorfología, los vientos, la descarga de los ríos y que además son fuertemente afectados por las mareas (Yáñez-Arancibia, 1986). El agua dulce continental rica en nutrientes que llega a los estuarios y posteriormente al mar, aunada a la gran diversidad de productores primarios como manglares, pastos marinos, fitoplancton y microalgas que se encuentran en estos ecosistemas, favorecen que se mantenga una alta productividad a lo largo del año, lo que constituye la base de una trama alimenticia compleja. Estos ecosistemas constituyen el área de reproducción, crianza, refugio y alimentación de un gran número de especies marinas.

En las costas de México se han inventariado cerca de 130 sistemas lagunares, con una superficie aproximada de 1.56 millones de hectáreas (Contreras y Castañeda, 2004).

EUTROFICACIÓN E HIPOXIA

La presencia de los organismos en el océano suele estar determinada por las zonas donde se encuentran los primeros eslabones de la cadena alimenticia. Los sitios que reúnen las condiciones de luz y nutrientes para la presencia de productores primarios son las zonas de surgencia, donde las aguas del fondo del mar, ricas en nutrientes emergen a la superficie y muy predominantemente en la zona cos-

tera, que es un área somera donde se presenta el fuerte aporte de nutrientes continentales provenientes de los ríos.

Así, el incremento de nutrientes suele asociarse con un aumento en la producción primaria, que ocasiona el incremento de consumidores y se asocia con ecosistemas altamente productivos. Sin embargo, hay un umbral en el que la carga de nutrientes (particularmente fósforo, nitrógeno y carbono) excede la capacidad de asimilación del ecosistema. Con el aumento de la población mundial, su localización en regiones costeras y la expansión agrícola en las cuencas abiertas o exorreicas, la eutrofización se está convirtiendo en un problema ecológico grave en todas las aguas costeras del mundo (Rabalais, 2004; Day *et al.*, 2004). El exceso de nutrientes, acompañado de tiempos de residencia prolongados y estratificación de la columna de agua, ocasiona que se forme una zona de hipoxia, que es una capa aislada de agua profunda que no está en contacto con el agua superficial rica en oxígeno (Rabalais, 2004).

La zona de hipoxia que se caracteriza por presentar concentraciones de oxígeno disuelto en el agua inferiores a 2 ml/L, se da principalmente en la columna de agua inferior, pero puede abarcar desde la mitad hasta los dos tercios inferiores. En zonas con tan bajas concentraciones de oxígeno disuelto la mayoría de los organismos no pueden sobrevivir. La hipoxia no sólo destruye a las comunidades bénticas, sino que también altera los ciclos biogeoquímicos de nutrientes. La cantidad de fosfato inorgánico disuelto (PO_4^{3-}) que se libera de los sedimentos durante la hipoxia, es un orden de magnitud mayor que el aporte antropogénico (Conley *et al.*, 2002 y 2009).

La hipoxia ocurre de manera natural en muchos entornos marinos del mundo, como los fiordos, las cuencas profundas y las zonas de oxígeno mínimo asociadas con sistemas de surgencia, como sucede alrededor de la plata-

forma de Yucatán (Kamykowski y Zentara, 1990). Las aguas hipóxicas y anóxicas (sin oxígeno) han existido a través de las eras geológicas, pero su aparición en áreas costeras poco profundas y en estuarios parece ir en aumento (Díaz y Rosenberg, 1995, Rabalais, 2004).

Hay varias zonas en el mundo donde se ha detectado hipoxia; el Mar Báltico presenta la zona de hipoxia antropogénica más grande del mundo, con una superficie de 42,000 km² (Conley *et al.*, 2009); en segundo lugar se encuentra el norte del Golfo de México, en la plataforma continental de Luisiana y Texas, frente a la desembocadura del río Mississippi, dada la gran cantidad de nutrientes que llega a la zona costera. La hipoxia se empieza a desarrollar por debajo de la picnoclina entre mediados y finales de primavera, y después se expande e intensifica a lo largo del verano hasta que la actividad de tormentas tropicales o una serie de frentes fríos altera la estratificación (Rabalais, 2004).

Los efectos de la hipoxia en la vida acuática son diversos e incluyen florecimientos de algas marinas que pueden producir mareas rojas, trastornos en las tramas alimenticias, alteración de patrones de migración, pérdida de hábitat adecuados para la reproducción y crianza de especies costeras y mortandad masiva de especies de peces e invertebrados (Rabalais, 2004, Day *et al.*, 2004).

En la porción mexicana del Golfo de México pueden haber zonas hipóxicas tanto naturales como producto de actividades antropogénicas. Varias lagunas son hipóxicas las 24 horas del día, como la laguna de Nichupté, en Cancún, debido a una carga orgánica excesiva y la consecuente sobrepoblación de algas (Díaz y Rosenberg, 1995; Rabalais, 2004); también las lagunas con camas extensas de pastos marinos, como la laguna Madre (Tamaulipas), la laguna de Tamiahua (Veracruz) y la laguna de Términos (Campeche), debido a que durante la noche tienen ritmos de respiración que exceden su

capacidad de surtirse de oxígeno atmosférico. Sin embargo, este proceso es algo natural en dichos hábitats (Rabalais, 2004).

De acuerdo con Rabalais (2004) y Day *et al.* (2004), es probable que, al igual que en los Estados Unidos, haya una correspondencia con grandes sistemas deltaicos frente a las áreas de principal importancia pesquera, asociados a fondos terrígenos influidos además por las cuencas hidrográficas de extenso uso agropecuario. Así, el área más susceptible de hipoxia potencial en la plataforma continental mexicana del Golfo de México, sería la Sonda de Campeche, y la mayor severidad debería presentarse entre los meses de junio a septiembre, después de la mayor descarga fluvial.

EL DRENAJE CONTINENTAL EN LA ZONA COSTERA DE MÉXICO

De acuerdo con CONAGUA (2008), la zona costera de México recibe el agua de muchos ríos con muy diferentes características. En México, la zona costera del Pacífico y del Golfo de California recibe el aporte de 32 ríos principales, que suman entre ellos 81,781 millones de m³/año. Por otra parte, los 16 ríos más importantes de la vertiente del Golfo de México y del Mar Caribe tienen un escurrimiento de 248,572 millones de m³/año; esta suma constituye más del triple del escurrimiento total del Pacífico mexicano y del Golfo de California (Anexo 1 y 2 en DVD adjunto).

En la vertiente del Pacífico y Golfo de California, el río con mayor escurrimiento natural es el Balsas, con 16,587 m³/año. Es el río con mayor cuenca hidrográfica, y uno de los más largos que drenan a la zona costera del Pacífico mexicano (Anexo 1 en DVD adjunto).

En la vertiente del Golfo de México y Mar Caribe el escurrimiento es muy superior al de la vertiente del Pacífico. El río Grijalva-Usumacinta, uno de los más largos y caudalosos del país, aporta por sí solo más agua a la zona costera que los 32 ríos principales con

escurrimientos en la vertiente del Pacífico (115,536 m³/año) (Anexo 2 en DVD adjunto).

EL IMPACTO POTENCIAL DE LAS AGUAS CONTINENTALES EN LA ZONA COSTERA DE MÉXICO

La representación cartográfica para este trabajo se realizó a partir de técnicas de análisis multicriterio en SIG, y consistió en la creación de un mapa índice final derivado de la superposición de los diferentes mapas o criterios, cuyos valores originales fueron estandarizados para su posterior integración cartográfica en un solo mapa a través de una sumatoria lineal ponderada (Bonham-Carter, 2002, Sharifi *et al.*, 2004), aunque los pesos para cada variable fueron iguales.

La agregación tuvo por objeto mostrar una clasificación de las cuencas exorreicas del territorio nacional a partir de su posible impacto territorial en las costas y sistemas costeros aledaños. Las variables empleadas fueron: aguas residuales tratadas por cuenca, sedimentación potencial de presas, contaminación potencial difusa por agroquímicos y calidad de agua (DQO, DBO, SST). El trabajo se centró en analizar el número de cuencas que afectan a las siete ecoregiones marinas de México (Wilkinson *et al.*, 2009), así como el área continental que potencialmente influye en dichas zonas como un parámetro de la intensidad de dicha afectación.

De acuerdo con el mapa adjunto, se observa un patrón regional claro en el Golfo de México y en el Golfo de California, con un impacto potencial fuerte ocasionado por el drenaje continental.

En la parte central del Golfo de México, que corresponde a la zona costera de los estados de Veracruz y Tabasco, se presentan valores altos y muy altos. Por otra parte, en el litoral occidental del país, las zonas con valores altos se encuentran en el sur del Golfo de California, y en el extremo sur, en la frontera

con Guatemala; en el resto de las costas del litoral del Pacífico mexicano predominan los valores medios y bajos.

ANÁLISIS POR ECOREGIONES MARINAS

De acuerdo con el mapa adjunto en la Ecoregión del Golfo de California, predominan las cuencas con impacto bajo en la zona costera, con excepción de las cuencas Yaqui, Mayo, Santiago, San Pedro y Ameca con valores muy altos y las cuencas de los ríos Colorado y Sonora, con valores medios. La superficie sumada de las cinco cuencas con valores muy altos corresponde al 43% del área continental total que drena hacia esta región. Si se le agrega la superficie continental de las 14 cuencas que muestran niveles altos, cerca del 50% de la superficie continental vierte sus aguas hacia esta zona, lo cual indica la intensidad del impacto que existe para las aguas de esta región.

En el análisis de las costas de la Ecoregión del Pacífico Sudcaliforniano se puede observar que se trata de una de las regiones mari-

GOLFO DE CALIFORNIA			
Nivel potencial de impacto	Número de cuencas	Superficie (km ²)	Superficie relativa (%)
Muy alto	5	206,094.50	43.2
Alto	14	20,552.30	4.3
Medio	10	86,243.00	18.1
Bajo	62	164,664.70	34.5
Total	91	477,554.50	100.0

PACIFICO SUDCALIFORNIANO			
Nivel potencial de impacto	Número de cuencas	Superficie (km ²)	Superficie relativa (%)
Muy alto	0	0	0.0
Alto	1	297.70	0.3
Medio	3	1,056.30	1.1
Bajo	73	91,583.20	98.5
Total	77	92,937.20	100.0

PACIFICO TRANSICIONAL			
Nivel potencial de impacto	Número de cuencas	Superficie (km ²)	Superficie relativa (%)
Muy alto	3	129,580.00	61.9
Alto	2	523.80	0.3
Medio	12	8,232.30	3.9
Bajo	44	70,860.30	33.9
Total	61	209,196.40	100.0

MAR CARIBE			
Nivel potencial de impacto	Número de cuencas	Superficie (km ²)	Superficie relativa (%)
Muy alto	0	0	0
Alto	0	0	0
Medio	0	0	0
Bajo	2	16,080.20	100

GOLFO DE MÉXICO SUR			
Nivel potencial de impacto	Número de cuencas	Superficie (km ²)	Superficie relativa (%)
Muy alto	1	5,718.90	1.4
Alto	10	89,416.90	22.5
Medio	9	103,047.00	25.9
Bajo	19	199,508.20	50.2
Total	39	397,691.00	100.0

GOLFO DE MÉXICO NORTE			
Nivel potencial de impacto	Número de cuencas	Superficie (km ²)	Superficie relativa (%)
Muy alto	0	0	0
Alto	0	0	0
Medio	4	6,811.10	2.5
Bajo	11	266,851.00	97.5
Total	15	273,662.10	100.0

nas menos afectadas por la influencia del agua continental en el país. La gran mayoría de las cuencas (73), que equivalen al 99% del total, muestra un valor bajo. Únicamente una cuenca muestra un valor alto y corresponde al lugar donde se asienta la ciudad de

PACIFICO CENTROAMERICANO			
Nivel potencial de impacto	Número de cuencas	Superficie (km ²)	Superficie relativa (%)
Muy alto	1	487.00	1.5
Alto	3	1,289.20	4.0
Medio	9	10,821.60	33.2
Bajo	17	20,028.90	61.4
Total	30	32,626.70	100.0

Ensenada. Sin embargo, el área de esta cuenca indica que potencialmente la intensidad de su impacto hacia las costas de la región es baja.

En la Ecoregión del Pacífico Transicional Mexicano se presenta una situación potencial crítica, pues alrededor del 60% de la superficie continental que vierte hacia sus costas presenta un impacto muy alto siendo la cuenca del Balsas la que aporta mayor superficie a esta categoría de impacto, seguida por la cuenca del río Ayuquila-Armería y la del río Coahuayana. Existen dos cuencas pequeñas que muestran valores altos, arroyo La Salada y arroyo las Pilas, cuya intensidad de impacto podría ser potencialmente pequeña si se toma en cuenta su superficie, que no suma más que el 0.3%. El resto de las cuencas muestran niveles predominantemente bajos y un mínimo porcentaje, casi el 4%, muestra un nivel medio de impacto.

En la Ecoregión del Pacífico Centroamericano, el problema de impacto en la zona de costa se concentra en las cuencas que drenan la llanura costera de Chiapas y en una cuenca pequeña que drena hacia la laguna costera Superior. La cuenca Cahoacán, en la que se localiza la ciudad de Tapachula, en la llanura costera de Chiapas, es la que presenta el impacto más elevado; sin embargo, su área sólo representa el 1.5% de la superficie que vierte sus aguas hacia esta ecoregión. Las dos cuencas aledañas, Suchiate y Coatán, muestran niveles altos de impacto potencial hacia las costas. El resto de las cuencas que drenan

hacia esta región es mayoritariamente de bajo impacto aunque hay un 33% que muestra impacto medio.

La Ecoregión del Mar Caribe muestra un nivel de impacto predominantemente bajo. Sin embargo, habrá que resaltar la existencia de probables impactos, no detectados en este trabajo, originados por los grandes corredores turísticos asentados a lo largo de la costa de Quintana Roo.

La Ecoregión que corresponde al Golfo de México Sur presenta una situación potencialmente preocupante pues, aunque es muy pequeña la cuenca del río Tonalá, que muestra un nivel muy alto, existen otras 10 cuencas con niveles altos. Ambos grupos de cuencas suman alrededor del 25% del territorio que drena sus aguas hacia las costas de esta ecoregión. Estas cuencas se ubican en el centro de la llanura costera del Golfo, en el estado de Veracruz, con las cuencas Papaloapan y Coatzacoalcos como mayores sistemas hidrográficos. La cuenca del río Pánuco muestra un nivel intermedio de impacto, rasgo que indica que esta gran cuenca podría transitar hacia un nivel alto en el corto plazo, pues se reporta un nivel de alteración en su sistema de corrientes (ver apartado *Alteración ec hidrológica de los ríos de México* en este documento).

El Golfo de México Norte es otra de las Ecoregiones con menor impacto potencial en sus costas y sistemas costeros aledaños. No obstante, es importante señalar la influencia de la cuenca del río Bravo —una de las más grandes y afectadas de nuestro país— que vierte sus aguas hacia esta región. Esta cuenca se ha caracterizado por mostrar una serie de impactos a lo largo de su territorio, como la pérdida total del caudal en su desembocadura por algún tiempo, y la contaminación de sus aguas derivada de la irrigación agrícola.

Los ecosistemas de la zona costera del país que han sufrido mayor impacto por las actividades humanas que se realizan en las

cuencas aledañas, se encuentran en las Ecoregiones Marinas del Golfo de California, el Pacífico Transicional Mexicano y muy predominantemente en el Golfo de México. La importancia de la cantidad y calidad del agua dulce que llega a los ecosistemas lagunares estuarinos debe resaltarse en el manejo del territorio, ya que la productividad de estos ecosistemas, que constituyen el área de reproducción, crianza, refugio y alimentación de un gran número de especies marinas y estuarinas, depende del flujo de agua continental. Es común en México que dicho flujo se vea seriamente disminuido por la presencia de presas y áreas de riego río arriba, afectando la salud de dichos sistemas, las lagunas de Chacahua en Oaxaca son un ejemplo fehaciente.

La concepción de las zonas costeras como una parte integral de las cuencas hidrográficas es fundamental para revertir el escenario mostrado en este análisis, y debe imperar en cualquier esquema para su manejo.

Aunque en la literatura se considera que el área más susceptible de hipoxia potencial en la plataforma continental mexicana del Golfo de México es la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta, (Rabalais, 2004 y Day *et al.*, 2004), será importante considerar también como regiones posibles de hipoxia a las zonas costeras adyacentes a la cuenca del río Tonalá en los estados de Veracruz, Tabasco y una pequeña porción del estado de Chiapas; a la desembocadura de los ríos Cazones, Tenixtepec, Tecolutla, arroyo Blanco y Bobos en la parte central del estado de Veracruz, y a la desembocadura de los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos, Xamapa, Tonalá y La Antigua en la porción sur del mismo estado. Así, el monitoreo estacional de las condiciones de oxígeno disuelto, concentración de nutrientes y estratificación será muy importante para determinar la existencia y ubicación de posibles zonas de hipoxia en el Golfo de México.



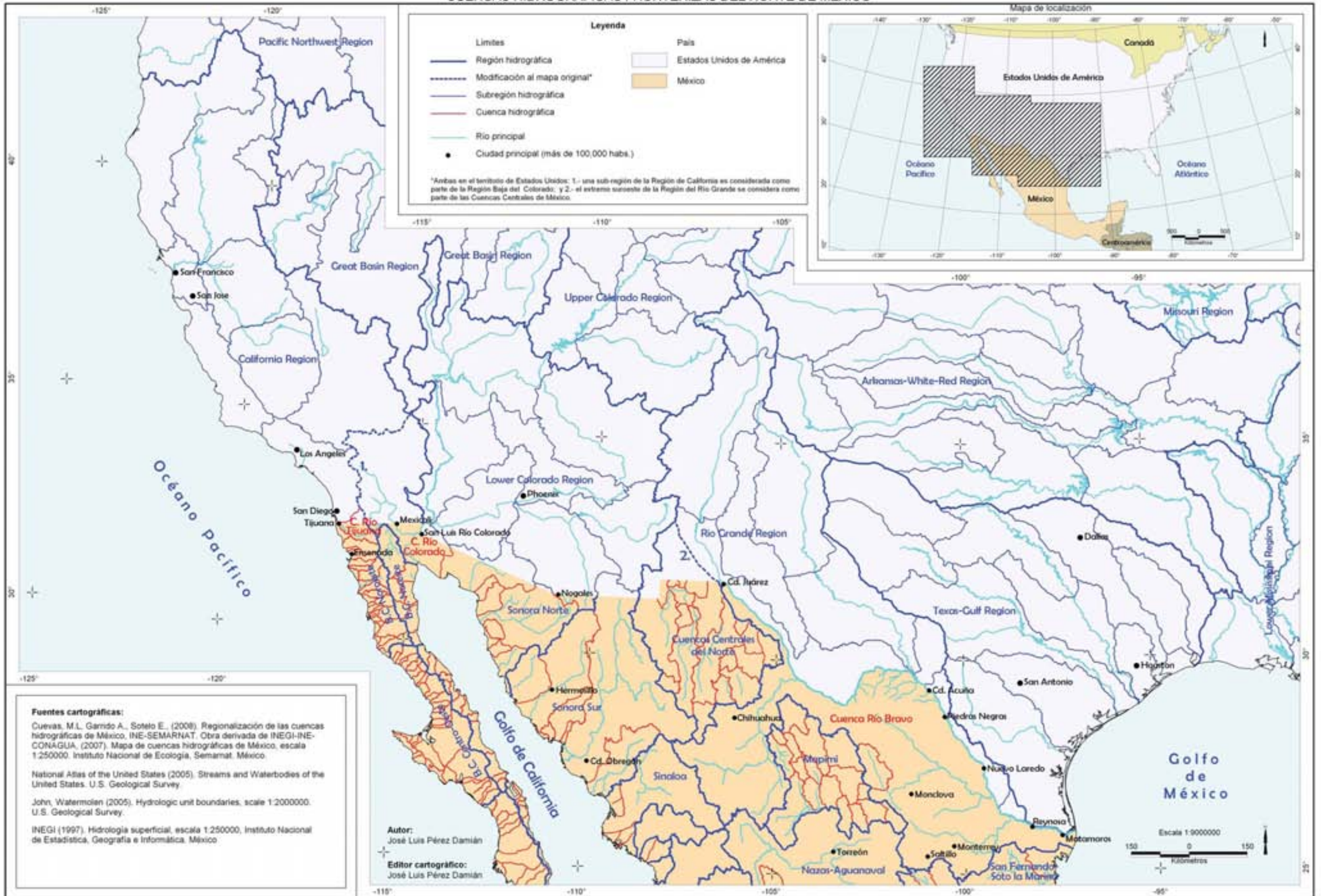
cinco

CUENCAS FRONTERIZAS

MÉXICO COMPARTE CUENCAS HIDROGRÁFICAS con los países vecinos: Guatemala, Belice y Estados Unidos; algunas veces ocupando las partes altas de estos territorios y otras las desembocaduras. De una u otra manera, el impacto de las actividades productivas así como de las medidas de conservación se extienden y atraviesan toda la cuenca, a lo largo de los ríos compartidos. La caracterización de los problemas y la identificación de las prioridades constituirán las bases para establecer los procesos de gestión, también compartidos.



CUENCAS HIDROGRÁFICAS FRONTERIZAS DEL NORTE DE MÉXICO



CUENCA TRANSFRONTERIZA DEL RÍO BRAVO/GRANDE¹

JÜRGEN HOTH VON DER MEDEN, ALFREDO RODRÍGUEZ, MAURICIO DE LA MAZA, JENNY ZAPATA, ANUAR MARTÍNEZ, AMANDA CLEGHORN, HAYDÉE PARRA, MARK BRIGGS, JOSÉ LUIS MONTES Y EDWARD M. PETERS RECAGNO

LA CUENCA DEL RÍO BRAVO/GRANDE² cubre una superficie total de aproximadamente 455,000 km²; poco más de la mitad de esta superficie corresponde a Estados Unidos (230,427 km²) y la otra parte (225,242 km²) corresponde a México (CONAGUA, 2010: 38; IBWC/CILA, 2004: 2) (Figura 1 en DVD adjunto). Con sus 3,034 km, el río Bravo/Grande es el más largo de México y forma la mayor cuenca del país; asimismo es el cuarto río más largo de EUA y quinto de América del Norte (Wislizenus, 1848:22; WET, 2001: 32, 38; Schwandt, 2001; CONAGUA, 2010: 34, 199). La cuenca del río Bravo/Grande abarca en total ocho estados; tres del lado estadounidense: Colorado, Nuevo México y Texas; y cinco del lado mexicano: Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Además de las ocho entidades federativas, del lado estadounidense se localizan once grupos indígenas conocidos como “pueblos,” los cuales suelen tener derechos preferenciales sobre el agua (WET, 2001: 49).

A nivel binacional se cuenta con más de 350 áreas naturales protegidas (ANP) las cuales abarcan el 26% del total de la cuenca del río Bravo/Grande (ver Figura 1). Del total de la superficie protegida, el 72% se encuentra en

Estados Unidos (8.6 millones de ha), y el 28% en México (3.3 millones de ha) (IUCN 2008 en CCA³; CONANP⁴) (Listado en Anexo).

En Estados Unidos, el afluente más importante del río Bravo es el río Pecos, mientras que en México los afluentes más importantes son los ríos Conchos, San Juan y Sabinas.

La cuenca del río Bravo es la cuarta cuenca de trece en México que poseen mayor volumen de agua concesionada para uso consuntivo por la Comisión Nacional del Agua (9,200 millones de m³; CONAGUA, 2010: 63). Esta cuenca cuenta con el mayor número de títulos de concesión otorgados en el país, 6,500 para aguas superficiales y 36,500 para aguas subterráneas (CONAGUA, 2010: 123). Asimismo, ambos países se reparten cada uno la mitad del escurrimiento de la cuenca del río Bravo/Grande aguas abajo de la presa Falcón (CONAGUA, 2010: 40; ver Cuadro 1 en DVD).

BIODIVERSIDAD Y ENDEMISMOS

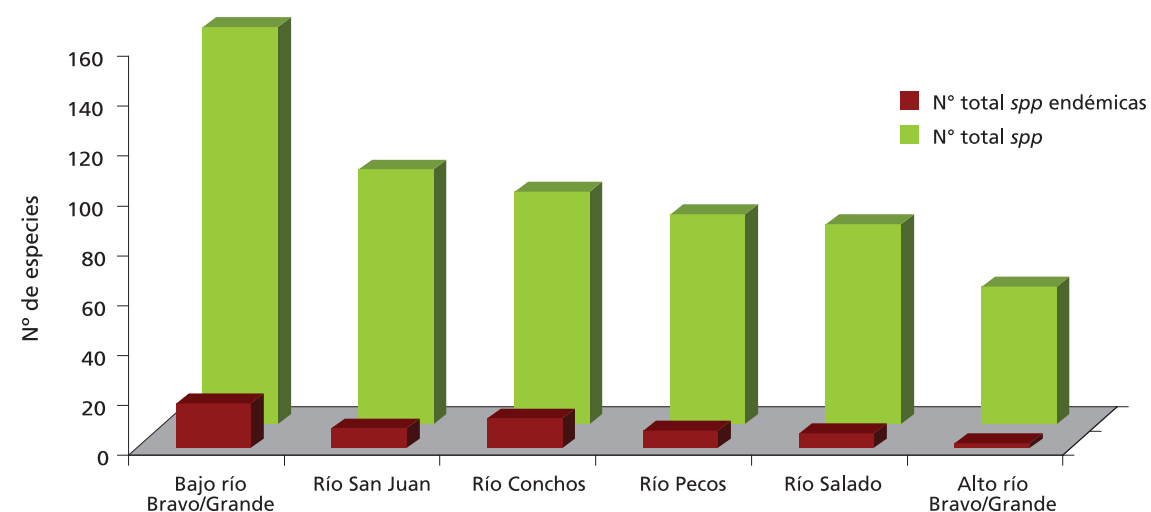
En la cuenca del río Bravo/Grande existe una gran riqueza de especies debido al gradiente de altitudes (0-4,257 msnm), la amplitud longitudinal (10°) y latitudinal (15°), así como una amplia diversidad de ecorregiones terres-

tres y acuáticas. Esta riqueza se puede apreciar con las 35 especies de anfibios y 121 especies de peces presentes en la cuenca, de las cuales más de la mitad (n=69) son endémicas (WRI, 2003). Esta cuenca coincide en extensión principalmente con la Ecorregión del Desierto Chihuahuense (40%), la cual es reconocida a nivel mundial por su alta biodiversidad, y con el matorral Tamaulipeco

(70%) (Dinerstein *et al.*, 2000). Los valores de biodiversidad y de endemismo asociados a esta cuenca pueden apreciarse en cada una de las seis ecorregiones hidrográficas que la integran (Abell *et al.*, 2000) (Figura 1).

De todas las ecorregiones hidrográficas de la cuenca del río Bravo/Grande destaca el bajo río Bravo/Grande, tanto en riqueza de especies como en endemismos (Figura 1). Considerando

Figura 2. Riqueza de especies nativas y endémicas por ecorregión hidrográfica de la cuenca del río Bravo/Grande tomando en cuenta peces, moluscos y crustáceos de río y reptiles (elaborada con base en Abell *et al.*, 2000: 132). Nota: el punto de separación entre el alto y bajo río Bravo usado en esta gráfica está determinado, según Abell *et al.* (2000), por la confluencia del río Conchos con el río Bravo.



Cuadro 2. Estado de conservación de las ecoregiones hidrográficas del río Bravo, tomando en cuenta peces, moluscos, crustáceos de río y reptiles (elaborada con base en Abell *et al.*, 2000: 132.)

Ecoregión hidrográfica	No. total spp	No. total spp endémicas	Estado de conservación
Bajo río Bravo/Grande	159	18	Crítico
Río San Juan	102	8	Amenazado
Río Conchos	93	12	Crítico
Río Pecos	84	7	Amenazado
Río Salado	80	6	Amenazado
Alto río Bravo/Grande	55	2	Crítico

el estado de las comunidades de peces, moluscos, crustáceos y reptiles como indicadores, el estado de conservación de la cuenca es preocupante, pues según Abell *et al.* (2000) tres de las seis ecoregiones hidrográficas se consideran en estado crítico y las otras tres como amenazadas (Cuadro 2).

El clima en la porción del alto río Bravo/Grande es generalmente caliente y árido, y se vuelve más tropical en la parte sur. La precipitación media anual en el área del sur de Colorado⁵ es de alrededor de 700 mm; a la altura de Ciudad Juárez/El Paso es de 200 mm; en Nuevo Laredo/Laredo de 510 mm y en Matamoros/Brownsville de 650 mm (CONA-

BIO, s.f.; Bravo *et al.*, 2000; Schwandt, 2002). Derivado en parte de las condiciones geográficas y climáticas, pero también de las prácticas de manejo realizadas históricamente en la región, el tipo de vegetación dominante en esta cuenca es el matorral (60%) seguido por pastizal (20%) y bosque (8%) ubicados en las zonas montañosas. Los cultivos representan 5% de la cobertura de la región (ver Figura 3) (Bravo *et al.*, 2000; WRI, 2003).

Esta cuenca ofrece importantes condiciones de corredor para fauna silvestre y hábitat para especies residentes y migratorias; además, la cuenca del río Bravo/Grande forma parte de la ruta central (*central flyway*) para aves migratorias (Figura 4; TPWD⁶; CONABIO⁷).

Antes de la alteración en el flujo del río Bravo/Grande generada por las primeras presas construidas a partir de 1916, este río observaba dos picos de flujo. El pico mayor ocurría en primavera, entre mayo y junio, debido al deshielo de la nieve acumulada durante el invierno en las montañas Rocallosas de Colorado. El segundo pico se observaba en los meses de agosto y septiembre, especialmente en el bajo río Bravo/Grande, debido al caudal mucho mayor aportado por el régimen de lluvias de verano que se presenta en la cuenca

del río Conchos (Figura 4) (WET 2001: 41; Schmidt *et al.*, 2003; Dean y Schmidt, 2010).

En condiciones naturales se estima que el río Conchos aportaba el 66% del flujo total del río Bravo/Grande (Dean y Schmidt, 2010). Como resultado de las notables diferencias del flujo del río Bravo/Grande a la altura de su confluencia con el río Conchos, y más aún de su interrupción entre Ciudad Juárez y Ojinaga, es que la confluencia de ambos ríos es considerada el punto donde se delimitan el alto río Bravo/Grande —desde su nacimiento en Colorado hasta esta confluencia— y el bajo río Bravo/Grande —desde la confluencia hasta su desembocadura en el Golfo de México. (Abell, *et al.*, 2000; Dean y Schmidt, 2010).

Desde 1916 a la fecha el caudal del río Bravo ha disminuido notablemente. Como se puede ver en la Figura 6, a la altura de Cd. Juárez/El Paso se ha reducido en casi 50% y en Ojinaga, cerca de la confluencia con el río Conchos, en casi 80%, aún tomando en cuenta la aportación del río Conchos (Dean, 2009). A pesar de que la década de los 70's fue una de las que registró más agua en el siglo XX, el flujo del bajo río Bravo se redujo a menos de la mitad del que tuvo en el pasado (HARC e ITESM, 2000: 7-13).

Figura 4. Ruta central de aves migratorias y cuenca del río Bravo/Grande. Adaptado de Texas Parks and Wildlife TPWD. www.tpwd.state.tx.us/huntwild/wild/birding/migration/flyways/central



Figura 3. Mapa de uso de suelo y comparación de la cobertura de los tipos de vegetación de la cuenca del río Bravo/Grande (según WRI, 2003).

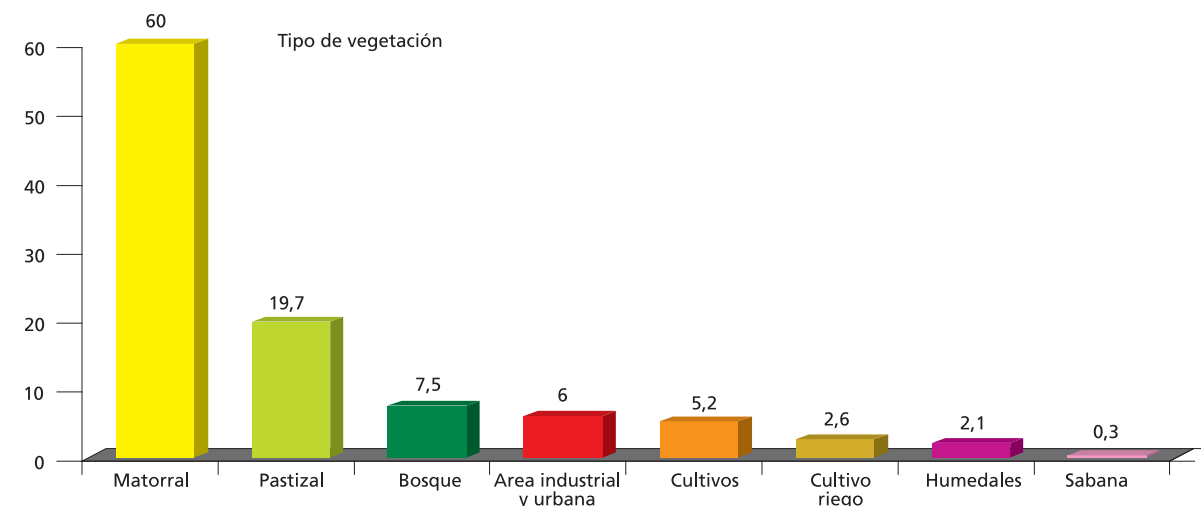
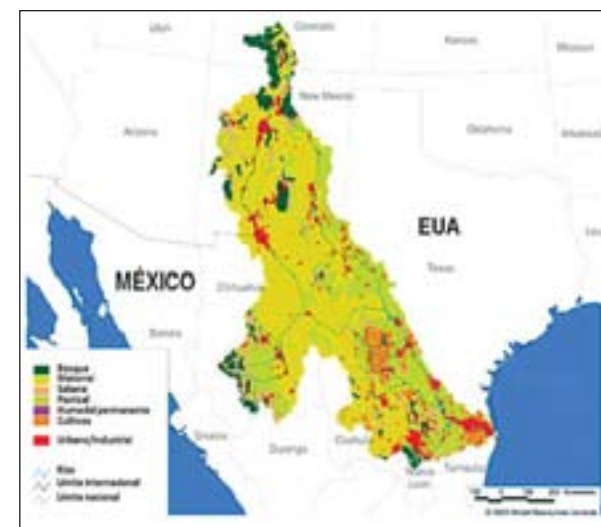
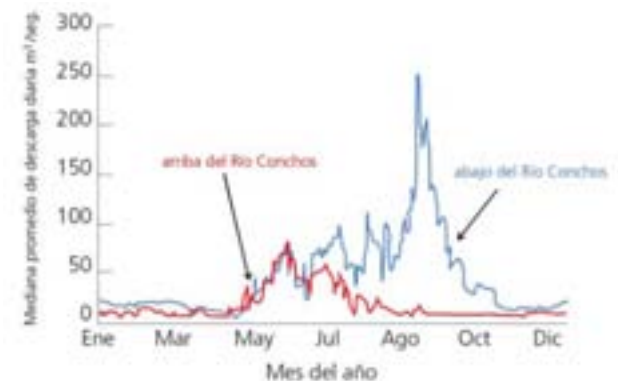


Figura 5. Hidrograma del río Bravo/Grande antes de 1916, fecha de construcción de Elephant Butte, la primera presa construida en la cuenca. Los hidrogramas indican los flujos arriba y abajo de la confluencia del río Conchos con el río Bravo (adaptado a partir de Schmidt *et al.*, 2003 y Dean y Schmidt, 2010).



Las extracciones de agua y el control de avenidas a través de presas⁸ y derivaciones no sólo han alterado el régimen de flujo de agua, sino que también han aumentado la cantidad de sedimentos acumulados. La disminución del caudal ha permitido la invasión de plantas (e.g. *Tamarix* spp., ver abajo) con lo que ha pasado de ser un río naturalmente ancho, lateralmente inestable y de múltiples ramificaciones, a un río cada vez más estrecho, sin ramificaciones y encañonado por los sedimentos acumulados a sus orillas. Además de modificar sustantivamente el hábitat de especies acuáticas nativas, estas condiciones magnifican el impacto de las inundaciones en el entorno humano (WET, 2001: 42; Dean y Schmidt, 2010).

ACTIVIDADES PRODUCTIVAS

Las principales actividades económicas en la cuenca incluyen la industria y el sector de servicios, la agricultura, la ganadería (una tercera parte de la producción ganadera de México se realiza en el norte del país; HARC e ITESM, 2000: 688), y el turismo (Bravo *et al.*, 2000). Según datos del 2007, después de la cuenca del valle de México, la cuenca del río Bravo genera la segunda mayor contribución al PIB del país (CONAGUA 2010: 14), debido principalmente a la planta industrial y al sector de servicios del área metropolitana de Monterrey.

Actualmente, la cuenca del Bravo/Grande es habitada por cerca de 13 millones de personas y presenta un rápido crecimiento poblacional. Del lado mexicano, la población de la cuenca registrada en 2008 fue de 10,844,542 habitantes (CONAGUA, 2010: 22). Del total de la población actual en esta cuenca, 93% es urbana y el 7% es rural (CONAGUA, 2010: 199).

En los últimos 50 años los principales centros urbanos de la cuenca se han convertido en un polo de crecimiento; se espera un aumento poblacional en los próximos 20 años que va desde 20% (CONAGUA 2010: 162) hasta casi 100% (HARC e ITESM, 2000: 808; Schwandt,

2002). El rápido crecimiento de los habitantes en esta región binacional ha sido ya registrado en años recientes: entre 1950 y 1980 la población de los estados fronterizos de México se triplicó y la de los estados de EUA se duplicó (WET, 2001: 316; Schwandt, 2002).

Siete son las ciudades en la cuenca del río Bravo/Grande con una población mayor a 500 mil habitantes. De éstas, Monterrey tiene la mayor cantidad con cerca de 3.5 millones de habitantes (Cuadro 3). Así, el estado de Nuevo León tiene el porcentaje más alto de población en la cuenca del río Bravo/Grande, con un 38% (WET, 2001: 54).

PRINCIPALES USOS DEL AGUA

El agua del río Bravo/Grande ha sido usada desde tiempos prehispánicos y coloniales a través de canales de irrigación y acequias (Wislizenus, 1848: 41; WET, 2001: 46). Del total de agua usada actualmente del lado mexicano de la cuenca (9,234 millones m³), el 53% proviene de aguas superficiales y el resto de aguas subterráneas (CONAGUA; 2010: 199). Los principales usos del agua en la cuenca son el agrícola (83.8%), el urbano (12.8%), el industrial (2.2) y la generación de energía eléctrica (1.2%) (CONAGUA, 2010: 61 y 63). Es de notar que en esta cuenca se hace un uso no consuntivo del 21% del total de agua utilizado, pues se emplea en la generación de energía (CONAGUA, 2010: 199).

Otro uso que se le ha dado a lo largo de la frontera al cauce del río Bravo/Grande ha sido estabilizar el límite entre Estados Unidos y México a través de la construcción de diques (WET, 2001: 42).

Con respecto al uso público en México, de acuerdo al censo del 2005 un 96% de la población de la cuenca tiene acceso a agua potable (98% población urbana y 72% de la población rural) y 93% al alcantarillado (96% de la población urbana y 65% de la población rural) (CONAGUA, 2010: 101 y 199).

Esta cuenca cuenta con la mayor capacidad instalada de plantas potabilizadoras de agua y de tratamiento de agua usadas a nivel nacional. Existen 57 plantas con una capacidad instalada para potabilizar 26 m³/s de agua. No obstante, estas plantas operan al 60% (15 m³/s) de su capacidad de potabilización (CONAGUA, 2010: 108). Por otra parte, existen 188 plantas, para el tratamiento de aguas residuales, con una capacidad de 28 m³/segundo; en la práctica tratan hasta un 78% (22.2 m³/s) (CONAGUA, 2010: 111).

AGRICULTURA

En Estados Unidos las presas de Elephant Butte y Caballo Dam irrigan 178,000 acres⁹ (72,000 ha) y 160,000 acres¹⁰ (65,000 ha), respectivamente. En México, esta cuenca cuenta

Cuadro 3. Ciudades de la cuenca del río Bravo/Conchos con una población mayor a 500 mil habitantes.

Localidad	Población (2009)
Monterrey	3,650,152
Ciudad Juárez	1,301,452
Chihuahua	777,166
Saltillo	707,708
El Paso	420,447
Albuquerque	528,497
Reynosa	507,998

Fuentes: United States Census Bureau en http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_United_States_cities_by_population (consultada el 15 julio, 2010).

en total con 12 distritos de riego donde se irrigan más de medio millón de hectáreas distribuidas en cinco estados: Tamaulipas, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Durango.

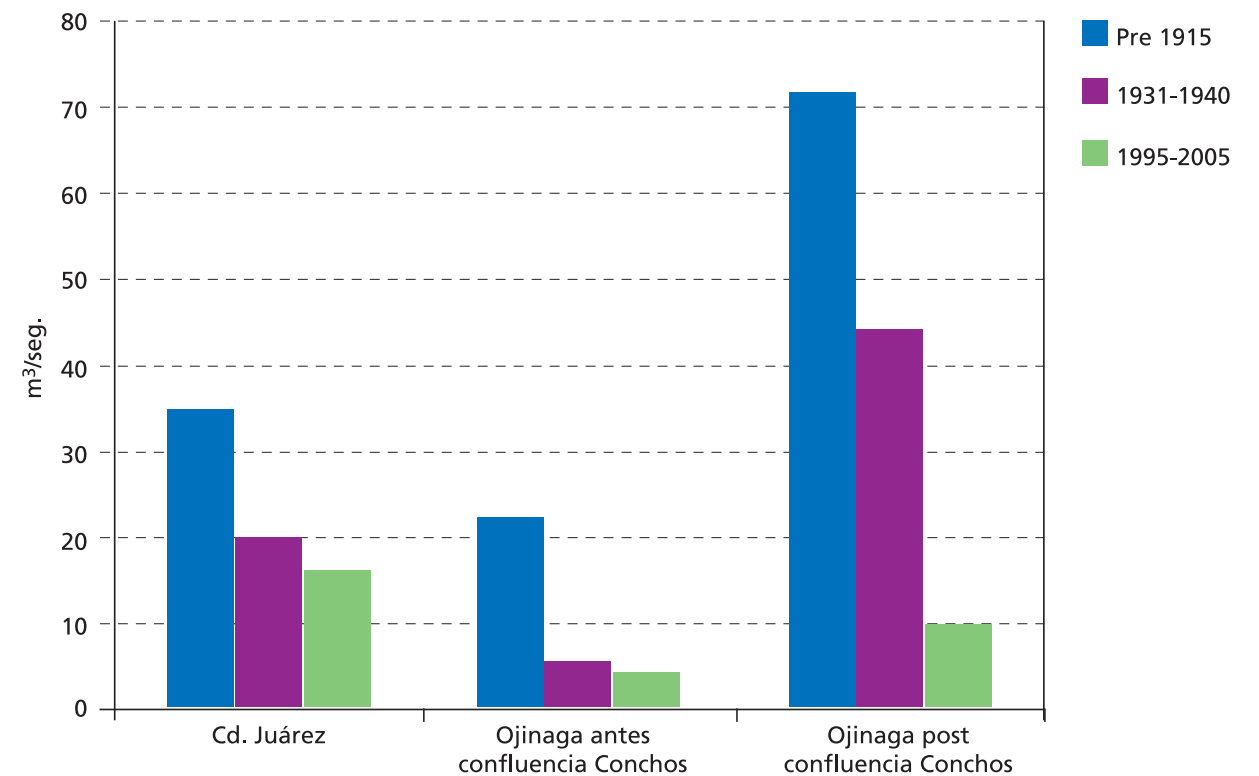
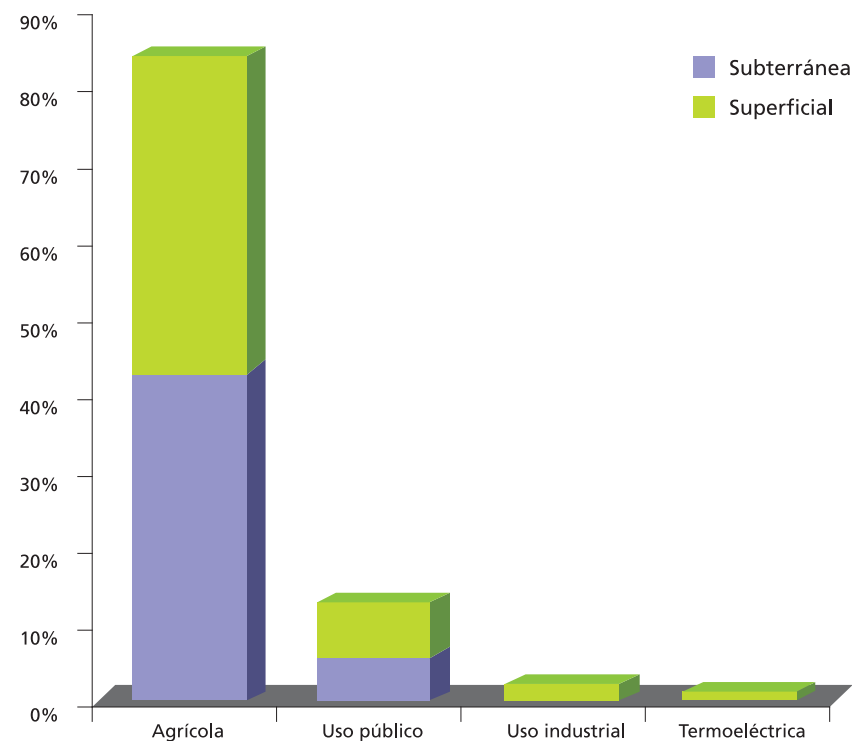


Figura 6. Cambios en el caudal del río Bravo/Grande, medidos por su flujo anual medio (*mean annual flow*), a la altura de la frontera con EUA, entre Cd. Juárez y Ojinaga, registrados pre 1915 y en los periodos 1931-1940 y 1995-2005 (con base en datos de Dean, 2009.)

Figura 7. Relación de agua superficial y subterránea usada por los principales sectores en la cuenca del río Bravo/Grande del lado mexicano. Fuente: elaborado a partir de CONAGUA, 2010: 199.



En los primeros dos estados se ubica el 90% de la superficie total de riego (CONAGUA 2010: 90; ver Cuadro 4 en DVD adjunto).

Si bien no se encontró la cifra precisa de total de agua consumida en la cuenca del río Bravo/Grande, es importante señalar que desde 2008 se cuenta con los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales de la cuenca hidrológica del río Bravo (DOF, 2008).¹¹ Asimismo, se debe tomar en cuenta que la cantidad de agua concesionada es de 9,200 millones de m³ (mencionada anteriormente) y se deben hacer estimaciones de extracciones ilegales para tener una idea de la magnitud del agua consumida en México.

CONDICIÓN AMBIENTAL ACTUAL

En los últimos 130 años se han dado importantes cambios en la vegetación de las cabece-

ras de las cuencas y de las zonas áridas del norte de México y sur de EUA, debidos a la deforestación, la expansión de la agricultura, el mal manejo ganadero y una extracción excesiva de agua superficial y subterránea (ver Figura 7). Estos cambios incluyen, del lado terrestre, la fragmentación del hábitat, la erosión, el aumento de la cobertura de las zonas con matorrales a expensas de zonas con pastizales (ver Figura 3, arriba) y la creciente presencia de especies invasoras y exóticas. Se estima que en el último siglo, 85% de los pastizales del desierto chihuahuense han sido invadidos por arbustos (Abbel *et al.*, 2000; Dinerstein *et al.*, 2000; Gori y Enquist, 2003; Escobar, 2008). Del lado acuático, estos cambios incluyen cambios en la cantidad, calidad y periodicidad de los flujos de agua (ver Figura 6), al grado de haberse interrumpido la continuidad en la parte media del río (ver

abajo) y haberse dado en fechas reciente (2001) la interrupción de su desembocadura al Golfo de México (Wong *et al.*, 2007). Es posible que el cambio de vegetación haya tenido repercusiones negativas sobre la hidrología de la cuenca del río Bravo/Grande ya que las áreas cubiertas con pastos tienen mayor valor de recarga de agua que las áreas cubiertas por plantas leñosas, como se ha observado en el norte del desierto chihuahuense (Keese *et al.*, 2005). Uno de los indicadores del impacto negativo que han tenido estos cambios son la aves de pastizales y zonas áridas de América del Norte, que han registrado pérdida de 60% de sus poblaciones en los últimos 50 años — las mayores pérdidas comparadas con las de los demás ecosistemas.¹²

Asimismo, información oficial indica que una cuarta parte de los acuíferos del desierto chihuahuense se encuentran sobreexplotados (CONAGUA, 2010), lo que muy posiblemente ha provocado la acelerada desaparición de manantiales y su fauna asociada.

Además de las aves, los peces son quizás unos de los mejores indicadores para dar cuenta de la precaria situación de la cuenca (HARC e ITESM, 2000: 7-19). Ya a mediados de los 90's, se reportaba que 85% de las 135 especies de peces amenazadas del país, así como 2/3 partes del total de especies extintas, provenían de las zonas áridas y semiáridas del norte del país (Contreras y Lozano, 1996; HARC e ITESM, 2000: 7-8).

Por otra parte, los retos relacionados a las especies exóticas se ven ilustrados con la tenacidad y la velocidad de invasión y cobertura del carrizo (*Arundo donax*) y de *Tamarix spp.*, especie conocida como “pino salado” (o *saltcedar* en inglés), ambas de origen asiático (USDA)¹³. La reducción y regulación del flujo del caudal del Conchos y del río Bravo ha permitido la invasión del cauce por estas especies, lo que ha resultado en una acelerada acumulación y retención de sedimentos a la orilla de los ríos, produciendo

do su encajonamiento y aumentando el impacto de las crecidas (Shafroth y Briggs, 2008; Dean y Schmidt, 2010).

Con respecto al río existen significativas alteraciones geohidrológicas y biológicas asociadas a las modificaciones de la cantidad y calidad de su agua. Además de las interrupciones del flujo hídrico, arriba señaladas, existen marcados cambios en la dinámica de los sedimentos acarreados. La interrupción del flujo del río Bravo/Grande a unos 100 km río abajo de El Paso, Texas, en Fort Quitman, se debe a la derivación total del agua concedida en su totalidad a EUA según el tratado de 1906. El río Bravo/Grande vuelve a contar con un importante cauce 240 km después, a la altura de Ojinaga/Presidio, gracias a la aportación del río Conchos, el cual representa 90% o más del agua del afluente principal medido entre Ojinaga y la presa Amistad (Dean y Schmidt, 2010).

Investigaciones preliminares realizadas en el bajo río Bravo/Grande indican que la calidad del agua del río es muy baja debido a la contaminación de agro y petroquímicos y a la alta salinidad —cerca del límite o excediendo los estándares oficiales— así como la reducción de volúmenes y aumentos de temperatura asociados (HARC e ITESM, 2000: 7-53).

Por otro lado, existen valiosos ejemplos relacionados con el uso eficiente del agua, como es el caso del llevado a cabo los últimos 10 años en el distrito de riego 05 de Delicias, en la cuenca del río Conchos, donde a través de programas de eficientización impulsados por el gobierno federal y con un costo de \$140 millones de dólares, la eficiencia del uso del agua en la agricultura aumentó de 44 a 66% (Barrios *et al.*, 2009).

ACTIVIDADES DE RESTAURACIÓN NACIONAL, BINACIONAL

Un esquema desarrollado desde los 90's para intentar obtener la recuperación de las fun-

ciones y servicios del ecosistema acuático — y su biodiversidad— se da a través de la implementación del *caudal ecológico* (Q ECO)¹⁴ (Tharme, 2003), cuyos principios ya se contemplan en la Ley Nacional de Aguas, bajo el nombre de “uso ambiental” (DOF, 2008). Por su parte, Estados Unidos no tiene ninguna ley federal que requiera el Q ECO o que establezca estándares asociados. Actualmente cada estado está buscando implementar este esquema.

En este sentido, desde 2005 el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés) y otras organizaciones, colaboran para el establecimiento de las bases científicas y técnicas para determinar el Q ECO en la cuenca del río Conchos (Barrios *et al.*, 2009). Esta información es clave para informar a los administradores del agua con respecto a las necesidades del río y para concientizar a los grupos de interés (como los agricultores), y al congreso de Chihuahua, para obtener su apoyo en establecer el caudal ecológico en la cuenca del río Conchos. La instrumentación del Q ECO no sólo beneficiará a esta cuenca sino que también ayudará a mejorar las condiciones ecológicas río abajo de su desembocadura con el río Bravo/Grande.

Promovidos a nivel binacional, se llevan a cabo trabajos de restauración con la finalidad de controlar y remover el *Tamarix spp.* que domina casi todos los sistemas ribereños del oeste de EUA y norte de México (Milbrath y Deloach, 2006: 1379; Shafroth y Briggs, 2008: 94). Para este fin se aplican diversos métodos, como la liberación en EUA de un escarabajo defoliador (*Diorhabda elongata*, originario de China y del Mediterráneo), así como el tratamiento químico y mecánico para eliminar esta especie mediante la colaboración de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) de México, el Servicio de Parques Nacionales de Estados Unidos (NPS, por sus siglas en inglés), el WWF y la población de Boquillas, Coahuila.

Otro de los efectos asociados a las alteraciones del caudal ecológico del río Bravo/Grande ha sido la pérdida de poblaciones de diversas especies de peces, como la carpita plateada del río Bravo/Grande (*Hybognathus amarus*), conocida como *silvery minnow* en inglés. En 2008, el Servicio de Vida Silvestre de EUA (USFWS, por sus siglas en inglés) reintrodujo varias poblaciones de esta especie clasificada como amenazada desde 1994.¹⁵

Con respecto a las aves, desde 2007 está en marcha uno de los proyectos binacionales más completos de monitoreo de aves realizado en el desierto chihuahuense, liderado por el Rocky Mountain Bird Observatory, junto con diversas ONG's de México (Levandovsky *et al.*, 2008). Esta iniciativa está encaminada a servir de apoyo para orientar y evaluar las actividades de mejoramiento del manejo y restauración de los diversos ecosistemas terrestres de la región.

PROCESOS DE GESTIÓN

El río Bravo/Grande es una de las tres cuencas limítrofes entre México y Estados Unidos, junto con las cuencas de los ríos Colorado y Tijuana. Las aguas de estos tres ríos se comparten conforme a lo indicado en el *Tratado entre el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y el Gobierno de los Estados Unidos de América de la Distribución de las Aguas Internacionales de los Ríos Colorado, Tijuana y Bravo/Grande, desde Fort Quitman, Texas, hasta el Golfo de México*, firmado en 1944 (CONAGUA: 2010: 39).

La distribución de las aguas superficiales del Bravo/Grande entre EUA y México quedó establecida mediante la firma de los gobiernos federales de ambos países, en la Convención de 1906 —para Ciudad Juárez— y en el Tratado de 1944 —de Ciudad Juárez al Golfo. De acuerdo con la Convención de 1906, Estados Unidos debe entregar a Juárez 74 Mm³ anualmente y con respecto al Tratado de 1944, México debe entregar a EUA 431.72 Mm³ de

agua al año (CONAGUA, 2010: 41). La distribución de las aguas del río Bravo/Grande puede apreciarse en el Cuadro 5 en el DVD adjunto.

En México, el manejo del agua es principalmente una responsabilidad federal, mientras que en EUA es estatal. Las diferencias en la legislación y niveles de desarrollo entre México y EUA han dificultado el desarrollo de estrategias integrales conjuntas de manejo de la cuenca del río Bravo/Grande (Schwandt, 2002).

La cuenca del río Bravo cuenta con un Consejo de Cuenca (a partir de 1999) y una Comisión de Cuenca para el río Conchos, así como con 12 comités técnicos de aguas subterráneas (CONAGUA, 2010: 143). La Comisión de Cuenca del río Conchos no es una instancia activa y a la fecha no ha sido posible constituir un organismo mixto a nivel de subcuenca para el río Conchos. La falta del estudio de disponibilidad de agua en la cuenca fue usada por los usuarios agrícolas —los únicos con voz al interior del Consejo— para postergar la ampliación de los órganos consultivos del mismo. Sin embargo, una vez publicado este estudio (DOF, 2008), el argumento usado ahora es la falta de un Reglamento (Barrios *et al.*, 2009; Zapata, 2009).¹⁶ Uno de los retos para lograr el manejo sustentable del agua es lograr que la ley permita participar a diversos sectores de la sociedad.

Si bien los sistemas de aguas superficiales y las aguas subterráneas están vinculados por componentes de un mismo sistema hidrológico, el agua superficial y subterránea en EUA no se maneja conjuntamente, lo que limita su manejo sustentable (Brunke y Gonser, 1997). Existen varios acuíferos compartidos a nivel binacional, como es el caso de los acuíferos Hueco del Bolsón y Bolsón La Mesilla (ver figura 7), de los cuales se surten de agua las ciudades del El Paso y Juárez (WET, 2001: 49; Schwandt, 2002: 142). Es de notar, sin embargo, que a diferencia del agua superficial, no existen acuerdos ni tratados relacionados a la administración de las aguas subterráneas, que



Figura 7. Acuíferos compartidos en la cuenca del río Bravo/Grande entre México y Estados Unidos (modificada a partir de Schwandt, 2002: 140).

indiquen la cantidad de agua extraíble por ciudad o estado, o calidad del agua (WET, 2001: 49; Schwandt, 2002: 141).

Otro actor importante está constituido por los grupos binacionales (para más detalle, ver documento en el DVD adjunto).

Algunas propuestas de política pública y de investigación son las siguientes:

- I. Es necesario definir los mecanismos para instrumentar efectivamente el caudal ecológico en el río Bravo/Grande y en todos sus afluentes, en el marco de lo establecido en materia de uso ambiental por la Ley de Aguas Nacionales (Artículo 7 bis fracción VIII y Artículo 3 fracción LIV).
- II. La planeación del agua debe realizarse de manera concertada e integral entre las jurisdicciones estatales y federales de y entre EUA y México para asegurar la disponibilidad de agua en la región compartida del río Bravo/Grande (Schwandt, 2002:143).
- III. Debe darse a conocer la legislación ambiental y asegurar que las autoridades respectivas cuenten con los elementos para su aplicación. Por ejemplo, ante las amenazas en contra de la vida silvestre se cuenta con la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-1994). Sin

embargo, Contreras y Lozano (1996: 38, 39) señalan que para recuperar o evitar la extinción de especies en el norte de México no ha sido suficiente contar con dicha protección legal debido entre otras, a las limitaciones de su conocimiento y su falta de aplicación por actores locales y autoridades.

- IV. Es imperativo contar en la cuenca del río Bravo/Grande, y en especial en la región fronteriza, con un sistema binacional de monitoreo con base en indicadores biológicos y geohidrológicos que evalúe la condición de ecosistemas, cuencas hidrológicas y cuerpos de agua compartidos, y su relación directa con la salud de las poblaciones humanas que forman parte y dependen de ellos (CONABIO s.f.).
- V. Se requiere mayor participación de científicos, técnicos y grupos de interés en todos los aspectos relacionados con la conservación y uso sustentable de la biodiversidad (Contreras y Lozano, 1996: 39).
- VI. Debe asegurarse la estabilidad de los manantiales y su biota asociada, y éstos deberían usarse como parte de un sistema de monitoreo de calidad ambiental y sustentabilidad del uso del agua (Contreras y Lozano, 1996: 39).

ESCENARIOS BAJO CAMBIO CLIMÁTICO

En las últimas décadas se han registrado tendencias significativas en el clima regional del sur y sudoeste de los Estados Unidos. En la ecoregión de las planicies, la cual en su parte sur coincide con el bajo río Bravo/Grande, se han registrado aumentos en la temperatura y en la precipitación (USGCRP, 2009: 123). Por otra parte, de acuerdo a los registros observados en la región sudoeste de EUA, la cual incluye a la cuenca del río Pecos y el alto río Bravo/Grande, en los últimos 40 años se han observado uno de los calentamientos más acelerados en todo EUA, con periodos inusualmente húmedos y secos (USGCRP, 2009: 129).

Para el lado mexicano, la información disponible para la región de la cuenca del río Conchos/Bravo indica que ésta es una de las regiones más vulnerables en América del Norte ante el cambio climático (Peterson *et al.*, 2002).

Un estudio realizado en México sobre el impacto potencial del cambio climático a nivel nacional, pronostica que las zonas áridas del norte del país, incluida la cuenca del río Bravo, podrán sufrir un 40% de recambio especies de aquí al año 2050, tomando en cuenta migraciones y extinciones (Peterson *et al.*, 2002). En dicho estudio se tomó como base a nivel nacional un cambio climático conservador para el año 2050, a saber, un aumento de la temperatura de 1.6 a 2°C y un decremento en la precipitación media anual de 70 a 130 mm.

A nivel regional, estudios recientes sobre el sur y sudoeste de EUA y norte de México, han documentado un incremento de casi 1°C desde los 70's a la fecha, y señalan que varias áreas dentro de esta región han registrado un calentamiento mayor que la media global (USGCRP, 2009: 123, 129). En general se espera —y según esta fuente ya se observa— una tendencia en la región hacia un aumento en lluvias más intensas y un aumento en la temperatura de verano, así como sequías más severas (USGCRP, 2009: 128, 129). Asimismo, se ha notado con preocupación la tendencia a la disminución en los últimos 50 años de la cantidad de nieve depositada en las Rocallosas del estado de Colorado, de donde se surte de agua la parte alta del río Grande (Bonfils, *et al.*, 2008).

La magnitud de las inundaciones observadas y potenciales es cada vez mayor. El impacto de las lluvias contra la infraestructura construida aumenta 1) con el cambio registrado de los patrones de lluvia hacia una mayor precipitación en periodos más cortos (USGCRP, 2009: 133); y 2) con el “encajonamiento” del cauce de los ríos y consecuente aumento de la fuerza de las crecidas por circular en un canal del lecho de río cada vez más estrecho y profun-

do, debido a la acumulación de sedimentos resultantes tanto de la reducción de flujos manejados por las presas como de la invasión de plantas (Dean y Schmidt, 2010).

Los mayores impactos del cambio climático se esperan en las zonas agrícolas fuertemente irrigadas a ambos lados de la frontera, debido al histórico uso no sustentable del agua y a la mayor frecuencia de calor extremo (USGCRP, 2009). Esto se ve ilustrado en un estudio sobre escenarios del impacto del cambio climático en la cuenca del río Conchos, realizado por Raynal y Rodríguez (2008). Ante el escenario conservador, de un aumento en la temperatura del aire en 2°C hacia finales del siglo XXI, se espera que este cambio resulte en un incremento en la evaporación potencial de hasta 7%. Ello tendrá un doble reto: 1) habrá que aumentar en hasta 11% el volumen de agua aplicado a los cultivos para compensar la evaporación; y 2) habrá una reducción de alrededor de casi el 10% del agua almacenada en las presas por una mayor evaporación. En suma, una reducción de 20% en la disponibilidad del agua en la cuenca.

Existen varias áreas de oportunidad para de satisfacer las demandas crecientes del agua en la cuenca del río Bravo/Grande:

1. Con respecto al agua potable y agua tratada existe un importante margen para aumentar el agua potable (40%) y tratada (20%) en esta cuenca. Una vez aumentada esta eficiencia con la capacidad existente ayudará a satisfacer las demandas crecientes de agua para consumo humano.
2. Optimizar el uso del agua en la agricultura a través del cambio de métodos arcaicos de irrigación por métodos más eficientes y mediante la mecanización de sus procesos.
3. Contabilizar el uso del agua superficial y subterráneo como un solo presupuesto de agua para asegurar su uso sustentable
4. Asegurar que se cuenta con sistemas de monitoreo físico y químico, pero comple-

mentados con sistemas biológicos para evaluar la condición y estado de salud de los cuerpos de agua.

5. En los ríos de esta cuenca se debe asegurar la asignación efectiva e inmediata del uso ambiental del agua en los términos establecidos —en el caso de México— por la Ley de Aguas Nacionales (2004, Artículo 3, fracción 54) como una medida adaptativa clave ante el cambio climático.
6. Ante el cambio climático se hace todavía más importante realizar acciones concertadas en contra de la pérdida de suelo y agua (USGCRP, 2009: 128).

En síntesis, la visión compartida sobre el río Bravo/Grande puede expresarse retomando algunos resultados obtenidos de la reunión binacional organizada por WWF-Programa Desierto Chihuahuense (12 de noviembre 2008) en Alpine, Texas, donde se plasmó la visión del río con base en sus características históricas conocidas y reconociendo las limitantes actuales impuestas por otros usuarios:

VISIÓN DEL RÍO BRAVO/ RÍO GRANDE

Nosotros, gente de dos naciones unidas por el río Bravo/río Grande, participantes del *Taller binacional sobre el río Bravo/río Grande* de México y de EUA, representando a 20 organizaciones gubernamentales, académicas y de la Sociedad Civil Organizada, anhelamos:

- Un cauce de río lateralmente inestable y dinámico, de múltiples ramificaciones, donde exista regularmente conversión entre los hábitats del canal y la planicie de inundación y cuya amplitud del lecho permita los movimientos laterales inestables del río, sin amenazar a las comunidades o estructuras históricas;
- Un río cuyo corte transversal sea relativamente amplio y somero;
- Una comunidad de plantas ribereñas diver-

sas y distribuidas en mosaico donde no domine ninguna especie no nativa;

- Un hábitat acuático que mantenga y mejore la presencia y distribución de la biota ribereña nativa, incluyendo las comunidades de peces, macro invertebrados acuáticos y otros componentes clave, indicadores de la salud y función del sistema;
- Un río cuyos caudales mantengan la capacidad de su lecho, reduciendo así la amenaza de inundaciones de las comunidades a lo largo del río;
- Un río que mejore el bienestar de los habitantes que viven a su orilla;
- Un río cuyas características naturales enriquezca la experiencia turística y educativa, y promueva actividades de bajo impacto, como lo son la pesca y paseos en balsas;
- Un río cuyas características de calidad de agua cumpla o exceda los estándares estata-

les y federales de ambos lados de la frontera;

- Un río con puentes, no muros.

¹ El documento completo está disponible en el DVD.

² Si bien es un solo río, el nombre que recibe oficialmente se designa por tramos y país: en México se asigna el término río Grande a la porción que fluye desde su fuente en las montañas Rocallosas del estado de Colorado hasta el Paso, Texas/Cd. Juárez, y de aquí hasta su desembocadura en el Golfo de México se le asigna el nombre de río Bravo; mientras que en EUA se le nombra río Grande a todo el río. En esta publicación cuando se indique “cuenca del río Bravo/Grande” se incluirá la cuenca completa, desde su nacimiento hasta su desembocadura en el golfo.

³ Véase www.cec.org/Page.asp?PageID=924&ContentID=2336

⁴ Véase www.conanp.gob.mx/que_hacemos/flora_fauna.php

⁵ www.wrcc.dri.edu/pcpn/co.gif (consultado el 20 de julio, 2010)

⁶ Véase www.tpwd.state.tx.us/huntwild/wild/birding/migration/flyways/central

⁷ Véase www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_042.html

⁸ El almacenamiento del agua ha sido una preocupación central en esta cuenca; como resultado, hoy en día existen 100 presas con una cortina mayor a 15 m, de las cuales ocho están construidas sobre el canal principal del río. Asimismo existen seis con una cortina mayor a 150 m (WRI, 2003) (Ver Cuadro 1 en DVD).

⁹ http://en.wikipedia.org/wiki/Elephant_Butte_Dam (consultada 18 de junio, 2010)

¹⁰ Ver www.emnrd.state.nm.us/PRD/BOATINGWeb/boatingwaterslakecaballo.htm (consultada el 18 de junio, 2010)

¹¹ DOF, 2008. Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales de la región hidrológica número 24 denominada Bravo-Conchos. *Diario Oficial de la Federación*. Lunes 22 de septiembre, Segunda sección.

¹² www.stateofthebirds.org/pdf_files/State_of_the_Birds_2009.pdf

¹³ USDA, Plant profile, *Arundo donax*, <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=ARDO4y>

Tamarix ramosissima <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=TARA>

(consultadas 25 de agosto, 2010).
¹⁴ El caudal ecológico se define como “la cantidad, calidad y régimen del flujo de agua requerido para sostener el bienestar de los ecosistemas de agua dulce y de las poblaciones humanas que de ellos dependen” (Declaración de Brisbane, en Arthington *et al.*, 2010: 1).

¹⁵ Véase: http://en.wikipedia.org/wiki/Rio_Grande_Silvery_Minnnow

¹⁶ ZAPATA, R. 2009. *Agua para el futuro: Una propuesta para la participación social en el manejo del agua de la cuenca del río Conchos*. Proyecto final de Máster en Economía Social y Dirección de Entidades sin Ánimo de Lucro. Centro de Investigación en Economía, Política y Sociedad. Universitat de Barcelona.



FOTO: PABLO CERVANTES

LA CUENCA BINACIONAL DEL RÍO COLORADO

OSVEL HINOJOSA HUERTA Y YAMILETT CARRILLO GUERRERO

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA

EL RÍO COLORADO es la fuente de vida para el suroeste de Estados Unidos y el noroeste de México. La cuenca transfronteriza del Colorado abarca un área de más de 630,000 km² en la que habitan más de 30 millones de personas en ambos países (Adler, 2007). Desde su nacimiento en las montañas Rocallosas en Estados Unidos, el río recorre más de 2,300 km en dirección suroeste por los estados de Wyoming y Colorado hacia Utah, Nevada, Arizona y California (Morrison *et al.*, 1996). Los últimos 140 km del cauce del río Colorado se encuentran al sur de la frontera internacional México-Estados Unidos, entre los estados de Baja California y Sonora. Representando casi el 2% del total de la cuenca, el delta es el área en donde el río Colorado se dispersaba en meandros y lagunas antes de su desembocadura en el Golfo de California (Sykes 1937, Glenn *et al.*, 2001).

Los principales tributarios en la parte alta de la cuenca son los ríos: Green, San Juan, Escalante, Gunnison y Dolores. En la parte baja de la cuenca, los principales tributarios son los ríos: Virgin, Little Colorado, Verde, Salt, Bill Williams y Gila, el que a su vez incluye a las cuencas binacionales de los ríos

San Pedro y Santa Cruz, en la frontera de Sonora y Arizona.

Más del 85% del volumen de agua disponible en la cuenca es captada en las montañas del estado de Colorado, en un área que cubre tan sólo el 15% de la misma (Adler, 2007). El volumen de agua acarreado anualmente en el río Colorado varía alrededor de los 17,000 millones de metros cúbicos (Mm³), sin embargo, el 70% del volumen anual fluye en la temporada de deshielo (mayo a julio; Cohen y Henges-Jeck, 2001).

La construcción de infraestructuras hidráulicas para el control, derivación y almacenamiento de flujos del río Colorado se inició bajo la premisa de tener un mejor aprovechamiento del agua para fomentar el desarrollo agrícola y urbano del árido suroeste de los Estados Unidos. Veinticinco presas de almacenamiento y cientos de derivaciones han sido construidas a lo largo del cauce y sus tributarios. Actualmente, la capacidad conjunta de almacenamiento de todas las presas y reservorios menores es de más de cuatro veces el volumen anual del río Colorado (>76,000 Mm³; Morrison *et al.*, 1996). Las principales presas son Hoover y Glen Canyon, las cuáles tienen una capacidad de almacenamiento con-

junto de más de 61,000 Mm³. Esta extensiva infraestructura hidráulica permite que más de la tercera parte del volumen anual del río Colorado se exporte vía ocho proyectos de derivación de volumen hacia distritos de riego y ciudades fuera de la cuenca, incluyendo a San Diego, Los Ángeles, Tucson y Tijuana.

El conjunto de leyes y dictámenes jurídicos que regulan el almacenamiento, derivación y asignación de volúmenes del río Colorado determinan la cantidad de agua que le corresponde a cada estado en Estados Unidos y el volumen que le corresponde a México. El total de derechos de agua asignados en la cuenca del río Colorado es de 21,586 Mm³ (Luecke *et al.*, 1999). Sin embargo, el volumen anual registrado en promedio en los últimos 100 años es de 18,500 Mm³, por lo que se tiene una sobre-asignación de derechos de aproximadamente 17% (Cohen y Henges Jeck, 2001). La primera asignación de volumen se divide por cuenca, la cuenca alta tiene derecho a 9,251 Mm³ mientras que la cuenca baja tiene una asignación de 10,484 Mm³ (Morrison *et al.*, 1996).

A su vez, cada estado tiene su propia asignación dentro de la cuenca en que se encuentra. Los estados que tienen derecho a

una parte de la asignación de la cuenca alta son: Arizona (62 Mm³), Colorado (4,761 Mm³), Nuevo México (1,036 Mm³), Utah (2,109 Mm³) y Wyoming (1,283 Mm³). En la cuenca baja, la asignación de volúmenes por estado es la siguiente: Arizona (3,454 Mm³), California (5,427 Mm³), Nevada (370 Mm³) y una aportación adicional a la cuenca baja de 1,233 Mm³ (usados generalmente en California). Además de la asignación entre los siete estados de Estados Unidos, se determinó también una asignación anual a México por 1,850 Mm³, de los cuales el 90% se reciben en Presa Morelos, en el Lindero Internacional Norte, cerca de Algodones, Baja California, y 10% se reciben por medio del Canal Sánchez Mejorada, en el Lindero Internacional Sur, cerca de San Luis Río Colorado, Sonora.

Más del 80% del volumen anual del río Colorado es utilizado en distritos de riego que dedican más de 16,500 km² a la agricultura; el resto es usado para proveer agua y energía eléctrica a los más de 30 millones de personas que viven en la cuenca (Pitt, 2001). Hay además 15 tribus indígenas, siete refugios nacionales de vida silvestre, cuatro áreas nacionales de recreación, cinco parques nacionales en

Estados Unidos y una reserva de la biosfera en México que dependen del agua del río Colorado.

Del volumen asignado a México, el 83% se usa en el estado de Baja California y el 17% restante en el estado de Sonora. En la asignación por tipo de usos en México, el 85% del volumen disponible se usa en la agricultura del valle de Mexicali (Distrito de Riego 014-río Colorado) y el resto se dedica a usos urbanos e industriales en las ciudades de Mexicali, Tecate y Tijuana en Baja California y San Luis Río Colorado en Sonora (Valdés-Casillas *et al.*, 1998).

Los servicios ambientales del río Colorado juegan un papel crítico para la economía y las comunidades de la región, proveyendo agua para 200,000 ha de cultivos agrícolas, así como agua para las ciudades (Sánchez-Ramírez, 1990; Valdés-Casillas *et al.*, 1998). Las zonas de humedales proveen los recursos para actividades de pesca, turismo, cacería y recreación para miles de personas (Carrillo-Guerrero, 2004), mientras que la zona de interacción entre el río Colorado y el Alto Golfo de California es una de las regiones pesqueras más productivas de México (Galindo-Bect *et al.*, 2000).

PROCESOS DE GESTIÓN Y MANEJO DEL AGUA

La complejidad inherente en el manejo de un río del que dependen tantas personas en dos países ha requerido el desarrollo de una serie de regulaciones sobre su uso, asignación, derivación y entrega de volúmenes. La Ley del Río Colorado comprende todas estas regulaciones y resoluciones jurídicas que se han desarrollado en torno al uso de los flujos del río y el manejo de la infraestructura hidráulica construida para su control.

Este compendio de leyes aplicables al río se inicia en 1922 con la firma del acuerdo llamado “The Colorado River Compact” en el cual

los siete estados de la cuenca en Estados Unidos y el gobierno federal de ese país acuerdan la asignación de volúmenes para la cuenca alta y la cuenca baja.

La asignación de volúmenes por estado en la cuenca alta se determinó en 1948 mediante el acuerdo llamado “Upper Colorado River Basin Compact”, mientras que el proceso de división de volúmenes por estado en la cuenca baja finalizó en 1963 vía una decisión de la Suprema Corte de Justicia estadounidense. El manejo del río Colorado en Estados Unidos está a cargo del Buró de Reclamaciones dentro del Departamento del Interior. Una vez entregados los volúmenes a cada estado, la jurisdicción para el manejo y control de éstos recae en las agencias estatales de agua correspondientes.

El Tratado Internacional del Agua acordado por México y Estados Unidos en 1944 define el volumen anual que México recibe del río Colorado. La sección estadounidense de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (IBWC) se encarga de hacer la entrega oficial de los volúmenes asignados a México, mientras que la sección mexicana de la CILA está encargada de recibir dichos volúmenes. IBWC y CILA se encargan además de mantener las comunicaciones binacionales relacionadas con el manejo del río Colorado, así como de la medición de flujos y entregas y del monitoreo de la calidad de agua en la zona fronteriza.

Como parte del proceso de manejo adaptativo del río, ambos países acuerdan actas que se anexan al Tratado Internacional de Aguas. Estas actas contienen generalmente especificaciones o temas no incluidos en el cuerpo del tratado *per se*, como la calidad del agua, implementación de proyectos de mantenimiento de la infraestructura hidráulica y más recientemente, aspectos ambientales. En el año 2000 se firmó el Acta 306, que define el marco de cooperación binacional para la restauración de la zona limítrofe del río Colorado y su delta.

Figura 1. Cuenca del río Colorado y sus subcuencas en Estados Unidos y México. Mapa diseñado por Marcia Moreno.



Ya en México, la jurisdicción y control de los volúmenes del río Colorado está a cargo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). CONAGUA maneja las obras de cabeza para la derivación de agua del río, incluyendo a la Presa Derivadora Morelos (que se opera de manera conjunta con la CILA), el cauce del río Colorado, los primeros 27 km del Canal Reforma, y los pozos federales ubicados en la Mesa Arenosa de San Luis Río Colorado, Sonora.

El Distrito de Riego 014-Valle de Mexicali es la quinta zona agrícola de mayor importancia en el país, cubriendo una extensión de 208,000 ha, con un sistema de canales de 2,902 km y un sistema de drenes de 1,662 km (Valdés-Casillas *et al.*, 1998). De los flujos que México recibe del río Colorado, 1,572 Mm³ al año se destinan al valle de Mexicali. La CONAGUA hace entrega de estos flujos a la Asociación de Usuarios del río Colorado, S. de R.L., que está conformada por un comité de agricultores que se encarga de manejar la red mayor de canales de distribución de agua.

El distrito de riego está dividido en 22 regiones, llamadas módulos de riego, los cuales también están dirigidos por su propio comité de agricultores. La Asociación de Usuarios entrega el agua a cada módulo, de acuerdo a los derechos de riego existentes, y cada módulo se encarga de manejar y distribuir los volúmenes que ingresan a los canales de red menor en su región.

Los encargados de los módulos de riego, su gerente técnico y los encargados de cada sección de canal, son quienes tienen contacto directo con los usuarios, recibiendo sus solicitudes de agua y haciendo el registro y los cobros correspondientes a la entrega de estos volúmenes en la toma parcelaria de cada agricultor. A su vez, los módulos son responsables de dar mantenimiento al sistema de drenes agrícolas en el valle de Mexicali, que colecta el agua de retorno en las parcelas y la

conduce hacia su destino final en los humedales remanentes en el delta del río Colorado.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA CUENCA

La cuenca del río Colorado contiene una variedad de zonas climáticas que van desde las características alpinas hasta las zonas desérticas, con una gran diversidad espacial y temporal. Esto tiene implicaciones fundamentales en la hidrología del río, y a su vez, en la conformación de los tipos de hábitats y especies que se encuentran en la cuenca.

En su travesía de 2,330 km, el río Colorado desciende más de 3,000 metros, desde las montañas Rocallosas de Colorado y Wyoming hasta su desembocadura en el Alto Golfo de California en Baja California y Sonora (Adler 2007). En este recorrido, el río pasa por siete ecozonas del oeste de Norteamérica, incluyendo bosques de pino (*Pinus spp.*, *Picea spp.*, *Abies spp.*), planicies de pastizales, grandes cañones y zonas desérticas, manteniendo corredores riparios con bosques de sauces (*Salix spp.*) y álamos (*Populus spp.*) a lo largo del cauce, y con humedales de marisma, planicies lodosas y una zona estuarina en el delta (Brown, 1994; Glenn *et al.*, 2001).

Sin embargo, la cuenca del río Colorado ha sufrido grandes cambios en los últimos 100 años. El río ya no fluye libremente y no constituye un ecosistema continuo, debido a la serie de presas a lo largo de su cauce. Los daños ecológicos en la cuenca se han derivado del hecho de que no se consideraron las necesidades ambientales cuando se realizó la asignación de flujos para los distintos usuarios, ni se consideraron los impactos de las grandes obras de ingeniería hidráulica.

Esto ha significado la pérdida de valores ambientales y de calidad de hábitat en toda la cuenca, de tal forma que el lecho del río queda seco cerca de la frontera entre Estados Unidos y México, y el río Colorado ya no des-

emboca en el Alto Golfo de California. Esto ha causado la disminución de poblaciones de peces y vida silvestre, al grado que diez especies endémicas y 45 especies nativas de la cuenca se encuentran en peligro de extinción (LCR MSCP, 2004; CONANP, 2007).

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES ACTUALES

Históricamente, el Colorado se consideraba uno de los ríos más poderosos del mundo, en el que el descenso total de tres km, junto con flujos máximos de 6,200 m³/s, mantenían corrientes de alta velocidad y gran turbidez (Morrison *et al.*, 1996). Adicionalmente, el Colorado tenía un gran dinamismo, cuyas variaciones estacionales y carga de sedimentos fueron factores fundamentales en la definición de las características físicas y biológicas del sistema. Esta variación estacional tenía flujos máximos de 2,800 m³/s durante el deshielo (mayo a julio) y mínimos de 140 m³/s durante el otoño e invierno (Adler, 2007). Esta diversidad en las condiciones hidrológicas dio lugar a la formación de una ictiofauna única en Norteamérica, con catorce especies de peces endémicos en la cuenca (LCR MSCP, 2004).

En el delta del río Colorado, los flujos de agua dulce mantenían una zona de más de 400,000 ha de bosques riparios y humedales de agua dulce, creando una de las regiones más importantes para la vida silvestre en el continente (Sykes, 1937; Leopold, 1949). Antes de la construcción del sistema de presas en la cuenca, el río desembocaba más de 15,000 Mm³ por año al Alto Golfo de California, creando una zona estuarina de cerca de 500,000 ha donde se mezclaban el agua dulce del río con las aguas salinas del Golfo (Lavín y Sánchez, 1999; Rodríguez *et al.*, 2001a). La influencia del río se extendía 65 km mar adentro, formando una zona de gran importancia para la reproducción, desove y crianza de una gran variedad de organismos marinos, incluyendo al camarón azul (*Litopenaeus stylirostris*), camarón café

(*Farfantepenaeus aztecus*), la totoaba (*Totoaba macdonaldi*, pez endémico del Alto Golfo y considerado en peligro de extinción) y la curvina golfina (*Cynoscion othonopterus*, Galindo-Bect *et al.*, 2000; Rowell *et al.*, 2005, 2008).

Desafortunadamente, el Colorado es ahora uno de los ríos más controlados en el mundo. Esto ha cambiado el régimen hidrológico, disminuyendo la variación estacional y su dinamismo. Además, se ha reducido el volumen, la velocidad, la turbidez y la temperatura de los flujos en el cauce principal. Esto ha causado que cinco de las especies de peces endémicos de la cuenca se encuentran en peligro de extinción (LCR MSCP, 2004).

Además del efecto de las presas y las derivaciones de agua, la planicie de inundación del río también ha sufrido impactos físicos directos a lo largo de la cuenca, particularmente con la construcción de bordos de defensa contra inundaciones, la desecación de zonas bajas, la conversión de zonas de humedales en zonas agrícolas y el encauzamiento del canal principal (Busch y Smith, 1995). Esto ha afectado la composición geomorfológica de la planicie de inundación, de tal forma que se ha perdido la diversidad topográfica y a su vez, los espacios para el crecimiento de las plantas riparias nativas, tales como sauces y álamos (Stromberg y Patten, 1991). Este factor, junto con las modificaciones hidrológicas (reducción de flujos, modificación del régimen hidrológico, pérdida de pulsos de inundación), han causado la desaparición de más del 90% de los bosques riparios y el 80% de las marismas en la cuenca baja del río Colorado (Ohmart *et al.*, 1988).

Adicionalmente, la planicie del río ha sufrido la invasión de especies exóticas, particularmente del pino salado (*Tamarix spp.*), el olivo ruso (*Elaeagnus angustifolia*) y la salvinia gigante (*Salvinia molesta*), empeorando aún más las condiciones de hábitat (Shafroth *et al.*, 2008). En consecuencia, varias especies de aves se encuentran amena-

FOTO: YAVILETT CARRILLO



Río Colorado.

FOTO: YAVILETT CARRILLO



Palmoteador de Yuma.

zadas o en peligro de extinción, incluyendo al papamoscas saucero del suroeste (*Empidonax traillii extimus*), al palmoteador de Yuma (*Rallus longirostris yumanensis*), al ralito negro de California (*Laterallus jamaicensis coturniculus*) y al cucú pico amarillo (*Coccyzus americanus*; Rosenberg *et al.*, 1999; Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007).

LOS EFECTOS HACIA LA PARTE FINAL DE LA CUENCA

Los impactos del manejo del río Colorado han repercutido de manera más drástica en la zona del delta y en la desembocadura del río en el Alto Golfo de California. Localizado en los estados de Sonora y Baja California, el delta reúne todos los impactos que se han acumulado a lo largo de la cuenca.

A la entrada del Colorado a México, en la Presa Morelos, Baja California, el flujo del río se reduce a la cantidad de agua que Estados Unidos debe entregar a México de acuerdo al Tratado Internacional de 1944. En este punto, México deriva los volúmenes remanentes para destinarlos a distintos usos humanos. El río, sus humedales y el Alto Golfo normalmente se quedan sin agua dulce.

Los flujos hacia el delta empezaron a disminuir desde principios del siglo XX, pero no fue hasta la construcción de las presas Hoover (en 1936) y Glen Canyon (en 1963) cuando realmente hubo una reducción significativa de

flujos (Cohen y Henges-Jeck, 2001). El periodo más crítico fue entre 1963 y 1979, cuando prácticamente por casi 20 años no hubo flujos del río hacia el delta. Esto causó la pérdida de más del 80% de las zonas de humedales y bosques riparios, y la desaparición de la porción estuarina del río (Glenn *et al.*, 1996). Grandes porciones del delta y valle de Mexicali, además de haber sido desecadas, se han salinizado (Carrillo-Guerrero, 2009).

El efecto más drástico en el delta ha sido en la comunidad de peces de agua dulce: de las 14 especies nativas, sólo quedan poblaciones remanentes de una especie, el pez cachorrillo del desierto (*Cyprinodon macularius*; Varela-Romero *et al.*, 2002). Todas las demás especies de peces de agua dulce nativos han sido extirpadas regionalmente. Actualmente, la comunidad íctica se compone prácticamente de especies exóticas, principalmente carpa (*Cyprinus carpio*), tilapia (*Tilapia spp*), pez mosquito (*Gambusia affinis*), lobina (*Micropterus salmoides*) y bagre (*Ictalurus spp.*), así como de especies estuarinas, como la lisa (*Mugil cephalus*; Calvo-Fonseca, 2010).

Los efectos de la reducción de agua dulce en el Alto Golfo han sido muy notorios, en particular con la reducción de la totoaba y de la almeja del delta del río Colorado (*Mulinia coloradoensis*). La totoaba es un pez marino, endémico de la parte Norte del Golfo de California, que alcanza longitudes de más de dos metros y forma agregaciones reproducti-



Río Colorado.

FOTO: CARLOS VALDÉS



Ciénega de Santa Clara.

FOTO: CARLOS VALDÉS

vas a finales de invierno y principios de primavera en la desembocadura del río, buscando los flujos de agua dulce para desovar y criar sus juveniles (Cisneros-Mata *et al.*, 1995). Entre 1920 y 1960, la totoaba fue la principal pesquería de la región, alcanzando capturas de 2 mil toneladas por año, fomentando la creación de los pueblos pesqueros de Puerto Peñasco y Golfo de Santa Clara en Sonora, y San Felipe en Baja California (Lercari y Chávez, 2007).

Desde la década de 1970, a causa de la pérdida de los flujos del río y la sobreexplotación pesquera, la población de totoaba se redujo a niveles críticos y la especie se decretó en peligro de extinción, prohibiéndose su aprovechamiento pesquero (CONANP, 2007). Su protección y algunos flujos esporádicos en los últimos 30 años han fomentado una pequeña recuperación de la totoaba, pero no ha logrado alcanzar la abundancia que tenía hace 50 años (Rowell *et al.*, 2008).

La almeja del delta del río Colorado es uno de los ejemplos más claros de los efectos que ha sufrido este ecosistema, ya que es endémica de la zona estuarina del río y el Alto Golfo, particularmente adaptada a la zona de mezcla de agua dulce y agua salada (Cintra-Buenrostro *et al.*, 2005). Esta almeja era la especie dominante en la zona, y era tan abundante que sus conchas formaron islotes de barrera de 3 km de largo (Rodríguez *et al.*, 2001b). Con la desaparición de los flujos del río, la especie se

ha reducido cerca de 99% y ahora se considera con un alto nivel de riesgo de desaparecer (Rodríguez *et al.*, 2001a).

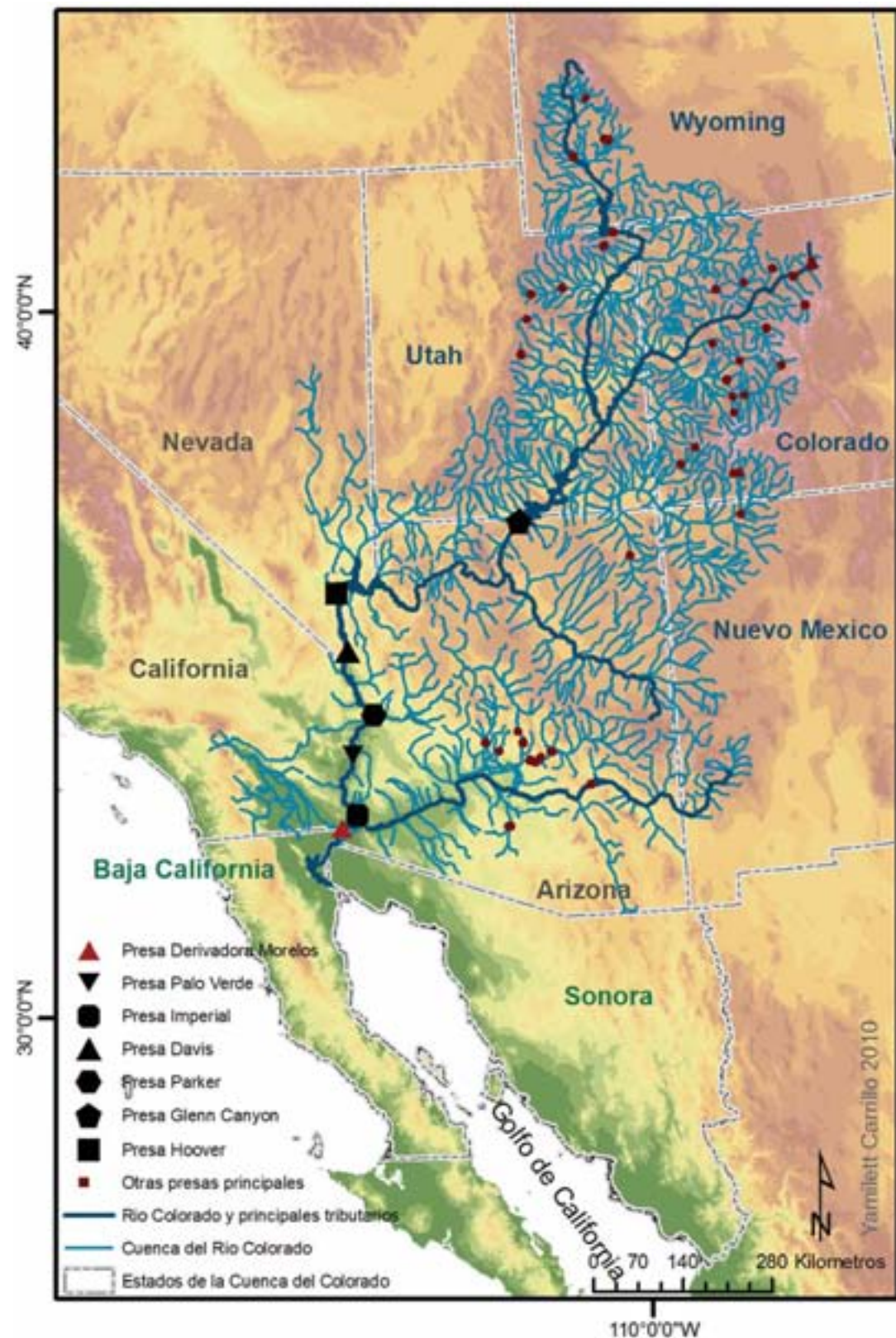
La totoaba y la almeja del delta son dos casos muy visibles de los cambios ambientales en el delta, la primera por su abundancia histórica y su gran tamaño, y la segunda porque dejó marcada su historia en sus conchas. Es importante considerar que estas especies son sólo dos ejemplos de la magnitud de los cambios ecológicos en el delta, los que muy probablemente se han replicado en toda la cadena trófica de la zona estuarina.

LOS HUMEDALES REMANENTES DEL DELTA DEL RÍO COLORADO

A pesar de los impactos que han ocurrido, el delta del río Colorado sigue siendo uno de los sitios más importantes para la conservación de la biodiversidad. Los humedales del delta cubren actualmente cerca de 100,000 ha y están constituidos por una serie de ecozonas contrastantes, que van de las zonas más áridas en el desierto hasta las marismas más productivas (Zamora-Arroyo *et al.*, 2005).

Apesar de no contar con una asignación de agua, estos humedales han logrado mantenerse gracias a desfuegos esporádicos de las presas en Estados Unidos, flujos de drenes agrícolas y a escurrimientos de los canales de riego que no están revestidos (Glenn *et al.*, 2001). En otras palabras, han logrado sobrevi-

Figura 2. Cauces y presas principales en la cuenca del río Colorado en Estados Unidos y México.



vir con flujos de segunda mano o con "ineficiencias" en el sistema de conducción.

Muchas especies prosperan en la región y la importancia del delta del río Colorado para la conservación de las aves ha sido reconocida nacional e internacionalmente. En México, una parte de estos humedales están protegidos por la Reserva del Alto Golfo y Delta del Río Colorado (CONANP, 2007). El delta es reconocido también como un Área de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) y ha sido decretado por la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad como un sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad (CONABIO; Cervantes *et al.*, 1999). Este ecosistema está también reconocido como un humedal de importancia internacional por la Convención Ramsar y es parte de la Red Hemisférica de Reservas Occidentales para Aves Playeras (CONANP, 2007).

Más de 370 especies de aves se han detectado en el delta (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2007), y es una región de especial importancia para aves acuáticas migratorias e invernales, así como para aves neotropicales migratorias (Mellink *et al.*, 1997; Hinojosa-Huerta *et al.*, 2008). Cerca de 300 mil aves playeras y 60 mil patos y gansos utilizan estos humedales como sitios invernales o como sitios de descanso durante la migración (Gómez-Sapiens y Soto-Montoya, 2006). Además, al menos 110 especies de aves terrestres neotropicales migratorias visitan el delta durante su viaje migratorio (Patten *et al.*, 2001).

El delta del Colorado es sin duda un ambiente alterado y la restauración a su estado original es prácticamente imposible. No obstante, sigue siendo un oasis de vida en medio del desierto, manteniendo una gran diversidad de especies gracias a su adaptabilidad y resiliencia y a las fuentes de agua no convencionales.

Algunas de las zonas de humedales en el delta del río Colorado con mayor relevancia incluyen al Corredor Ripario, al río Hardy y la Ciénega de Santa Clara. El corredor ripario se extiende a lo largo de la planicie de inunda-

ción en México, desde la Presa Morelos hasta la confluencia con el río Hardy. Esta zona normalmente no recibe flujos del río, pero en los últimos 30 años se han presentado eventos con pulsos de inundación (1979, 1981-1986, 1993, 1997-2000) por desfogues en las presas en Estados Unidos que han restablecido cerca de 3,000 ha de bosques de sauces y álamos; aunque más del 50% de la cobertura vegetal es de especies exóticas (Zamora-Arroyo *et al.*, 2001; Nagler *et al.*, 2005). Esta zona también recibe aportaciones por infiltraciones del valle de Mexicali, que permite la sobrevivencia del bosque ripario y de las especies que dependen de él (Carrillo-Guerrero, 2009).

Otra zona importante es el río Hardy, en la parte occidental del delta. Estos humedales se mantienen principalmente con flujos de drenes agrícolas del valle de Mexicali (flujo promedio de 800 l/s) y con aportaciones con fines ambientales del efluente tratado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Arenitas (flujo promedio de 300 l/s; Zamora-Arroyo *et al.*, 2005). Los humedales del Hardy se han recuperado en los últimos diez años, gracias a los nuevos aportes de agua y a los esfuerzos de restauración en la zona, que han logrado mejorar las condiciones del humedal en cerca de 2,000 ha.

La Ciénega de Santa Clara es el humedal remanente más importante en el delta del río Colorado, cubriendo 20,000 ha de marismas, lagunas someras y planicies lodosas (Glenn *et al.*, 1996). La Ciénega se mantiene con agua de drenaje agrícola que proviene del Distrito de Riego Welton-Mohawk en Arizona, y puede considerarse como el mejor ejemplo de restauración (aunque accidental) en toda la cuenca del Colorado (Glenn *et al.*, 1992).

Esta zona era originalmente un brazo del río Colorado, que fue desecado con la construcción de las presas y el desarrollo del valle de Mexicali. Sin embargo, en 1976 tras negociaciones binacionales para que el drenaje agrícola de Arizona no se contabilizara como parte de las

entregas a México, el agua salobre empezó a fluir hacia este sitio, restableciendo el humedal.

La Ciénega alberga actualmente al 75% de la población total del palmoteador de Yuma, un ave de marisma endémica a la cuenca baja del río Colorado, protegida en ambos países (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2001). La Ciénega de Santa Clara también provee hábitat para cerca de 150 mil aves playeras, patos y gansos y además mantiene una población pequeña del pez cachorrillo del desierto (Zengel *et al.*, 1996; Gómez-Sapiens y Soto-Montoya, 2006).

PRINCIPALES AMENAZAS

La principal amenaza para los ecosistemas del río Colorado es la falta de una asignación de flujos de agua con fines ambientales. La sobreasignación de agua y la aridez de la zona intensifican esta amenaza en la cuenca baja y en la zona deltáica.

El manejo del agua del río está regido por un complejo grupo de acuerdos legales a nivel nacional y binacional. Este conjunto de acuerdos le da prioridad a los usos domésticos, municipales, agrícolas e industriales pero no considera las necesidades de flujos ambientales. Toda el agua de la cuenca, tanto en Estados Unidos como en México, ha sido asignada a distintos usuarios, y no hay agua remanente para asignar a la naturaleza.

Por otra parte, la calidad del agua es un tema de gran preocupación, especialmente en la parte baja, donde llega menor cantidad de agua y se concentran las sales, desechos agroquímicos, desechos orgánicos y metales pesados. Así, una de las principales limitaciones para el establecimiento de bosques de sauces y álamos, es la salinidad de agua, puesto que la tolerancia máxima de estas especies es de dos partes por mil, similar a lo que toleran los cultivos agrícolas (Vandersande *et al.*, 2001). Existe disponibi-

lidad de agua de drenaje agrícola para los humedales, pero su salinidad promedio oscila entre tres y cuatro partes por mil.

Las zonas más bajas de la cuenca, como el río Hardy y la Ciénega de Santa Clara son utilizadas como cuerpos receptores de drenaje agrícola. Existen 17 drenes agrícolas en el valle de Mexicali; tres primarios y 14 secundarios que fluyen directamente al sistema del Hardy, acarreamo un volumen anual de agua de $6.33 \times 10^7 \text{ m}^3$ (CONAGUA 1997), que posee un total de 70 mil toneladas de fertilizante y 400 mil litros de insecticida al año (Valdés-Casillas *et al.*, 1998); además, ha existido un uso excesivo de DDT por varias décadas (García-Hernández *et al.*, 2001). Esto crea un alto riesgo de contaminación por pesticidas, particularmente de organoclorados y derivados de DDE, de los cuales se han encontrado concentraciones altas en agua, sedimentos y biota del río Hardy (García-Hernández *et al.*, 2006).

El selenio, mercurio, cadmio y plomo son metales pesados que también afectan a estos humedales (Mora y Anderson, 1995). El selenio es un elemento que ocurre de manera natural en la cuenca y que se disuelve en el agua de irrigación agrícola; es concentrado por la evaporación en sedimento y agua (King *et al.*, 1993). En altas concentraciones, el selenio causa problemas reproductivos y embrionarios en la vida silvestre, particularmente en las aves, y en casos de concentraciones extremas, puede ocasionar mortandades masivas (Skorupa *et al.*, 1996).

Las más altas concentraciones de selenio en el delta se encuentran en la confluencia de los ríos Hardy y Colorado (García-Hernández *et al.*, 2001), sobrepasando la mayoría de las veces los niveles oficiales permitidos por las normas mexicanas y estadounidenses. También se encuentran concentraciones altas en la Ciénega de Santa Clara, aunque afortunadamente en niveles que no representan un riesgo para la vida silvestre o la salud humana (García-Hernández *et al.*, 2000).

Aunque la aportación de agua de drenaje agrícola ha permitido el mantenimiento de importantes funciones ecológicas en varios sitios del delta del río Colorado, es importante considerar el mantenimiento de la calidad del fluido para evitar daños a la vida silvestre y a las comunidades humanas que dependen de estos recursos.

También los incendios son una amenaza constante para la planicie de inundación. El fuego puede fomentar el cambio en la composición de la comunidad florística; las especies nativas no pueden competir con las exóticas invasivas en la etapa de establecimiento, pues no toleran la salinidad en el suelo y la falta de agua. Además, la amenaza de incendios se ha multiplicado por la falta de pulsos de inundación en la planicie, que puedan remover la hojarasca y el material combustible producido por la densidad de plantas.

Finalmente, la poca agua que han conservado estos humedales se encuentra en riesgo por el desarrollo de proyectos para mejorar la eficiencia en el uso del agua en la cuenca. Esta es una de las grandes paradojas del delta del río Colorado, en donde los proyectos de conservación de agua no están vinculados con la conservación de los ecosistemas o con la aportación de agua para el ambiente, sino al contrario, el agua rescatada se retira de los servicios ambientales y se destina a mayores usos humanos, típicamente fuera de la cuenca.

Uno de estos ejemplos fue el revestimiento del Canal Todo Americano (CTA) en Estados Unidos. El CTA es el principal canal que lleva agua del río Colorado hacia California, incluyendo al Valle Imperial y la ciudad de San Diego. Una porción de 38 km, a lo largo de una zona arenosa, se encontraba sin revestimiento, por la que se infiltraban cerca de $100,000 \text{ m}^3$ por año hacia el acuífero, fluyendo hacia México (Zamora-Arroyo *et al.*, 2006). Estas infiltraciones, además de ser utilizadas para el riego de cultivos en el valle de Mexicali, mantenían al sistema de humedales

Figura 3. Cuenca del río Colorado en México, incluyendo el sistema de uso y distribución del agua y los humedales remanentes.





Rio Hardy.

de la Mesa de Andrade, con una extensión de 6,000 ha, y un gran valor ecológico (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2002).

El CTA fue revestido en el 2009, eliminando las infiltraciones que daban vida a los Humedales de Andrade. Estos humedales aún proveen hábitat para cerca de 10 mil aves acuáticas migratorias y para especies protegidas, como el palmoteador de Yuma. Sin embargo, los niveles de agua han comenzado a disminuir, y los humedales desaparecerán en tan solo unos años (Peregrina Llanes, 2010).

De manera paralela, existen planes para enviar el agua del canal Welton-Mohawk a la Planta Desaladora de Yuma en Arizona y destinar el agua tratada para usos municipales y agrícolas (Zamora-Arroyo *et al.*, 2005). Esta es la amenaza más grande para la Ciénega de Santa Clara, que recibe el 90% de sus flujos del canal Welton-Mohawk. Si la planta empieza a tratar agua, el flujo que hoy alimenta la Ciénega sería sustituido por una cantidad reducida de agua con una mayor concentración de sales. Esto dañaría severamente las funciones ecológicas de la Ciénega y a las poblaciones de vida silvestre que dependen de ella (García *et al.*, 1999).

Actualmente se está llevando a cabo una prueba piloto de la operación de la planta desaladora de Yuma, a 30% de capacidad,

durante un año. Afortunadamente, el proceso se lleva a cabo en un marco de colaboración binacional, en donde se tomaron en cuenta las consideraciones ambientales, y se alcanzó un acuerdo por el que se autorizó la operación de la planta asegurando que no se causarían daños a la Ciénega de Santa Clara. Esto implicó un acuerdo binacional (ratificado en la Minuta 317 del Tratado Internacional) para la asignación temporal de agua para la Ciénega, con el fin de reemplazar los flujos faltantes que se destinarían a la Planta Desaladora. El agua está siendo aportada a partes iguales (1/3 cada parte, 14 millones de m³) por el Gobierno de México, el Gobierno de Estados Unidos y los grupos ambientales de la sociedad civil, por medio del Fideicomiso de Agua para la Restauración del Delta del Río Colorado.

Aunque la operación de la Planta Desaladora de Yuma ha levantado serias preocupaciones desde el punto de vista ambiental, este proceso ha demostrado al mismo tiempo que se pueden alcanzar acuerdos binacionales para la asignación de agua para el medio ambiente. Aún más, ha demostrado que pueden implementarse acciones de colaboración binacional en las que se encuentren soluciones de manera conjunta a los retos de asignación de agua y conservación ambiental en la cuenca.

NECESIDADES DE AGUA

Durante los últimos diez años se han desarrollado varios esfuerzos de investigación en el delta del río Colorado, con especial énfasis en documentar las condiciones ambientales, identificar las oportunidades de restauración y en definir las necesidades de agua para mantener y/o restaurar los humedales remanentes en la zona (Nagler *et al.*, 2005; Glenn *et al.*, 2008).

Gracias a estos trabajos, se han logrado determinar las necesidades de agua, definir las metas de asignación para las distintas zonas de humedales e identificar las fuentes para poder cumplir esos objetivos.

En particular, se definieron necesidades de agua para el corredor ripario, el río Hardy, la Ciénega de Santa Clara, los humedales de la Laguna del Indio y la zona estuarina (Cuadro 1). En total, se estima que se requieren entre 390 y 600 millones de m³/año para restaurar y mantener las funciones ambientales en el delta del río Colorado; apenas un 3.33% del flujo total anual en la cuenca (Zamora-Arroyo *et al.*, 2005). Es importante mencionar que esta estimación de necesidades de agua considera que los niveles del manto freático se mantienen estables y que las aportaciones subterráneas serán continuas. Si estas condiciones cambian, por ejemplo por un aumento en la extracción de agua del acuífero o por el revestimiento de canales en la zona, las necesidades de agua aumentarían.

Además de las diferencias en el flujo requerido, cada zona tiene necesidades particulares. Por ejemplo, el corredor ripario, con sus bosques de sauces y álamos, requiere de agua dulce (< dos partes por mil) distribuida en un flujo base de mantenimiento de entre dos y cuatro m³/s, así como un pulso de inundación de entre 20 y 40 m³/s cada cuatro años, con una duración de tres meses (entre abril y junio) para permitir el movimiento de sedimentos, el lavado de sales y la germinación de árboles nativos (Glenn *et al.*, 2001; Stromberg, 2001).

Por su parte, tanto el río Hardy como la Ciénega de Santa Clara mantienen humedales de marisma, por lo que tienen una tolerancia mayor a la salinidad y sus necesidades de agua pueden cubrirse con flujos de drenes agrícolas (con salinidades no mayores a las cuatro partes por mil).

Finalmente, aunque ya se han realizado las primeras estimaciones de las necesidades de agua para la zona estuarina y se ha tomado en cuenta la dilución de la salinidad en la zona alrededor de la desembocadura del río, aún existe incertidumbre acerca del flujo requerido en esta región, debido a la complejidad del ecosistema estuarino y marino del delta y Alto Golfo (Calderón-Aguilera y Flessa, 2009). Por ello, se están realizando investigaciones para obtener un estimado más preciso, considerando distintos componentes de la comunidad estuarina del río Colorado.

A pesar de que no existe información científica que indique que el flujo de agua dulce sea un factor de riesgo para la vaquita marina (*Phocoena sinus*), el cetáceo en mayor peligro de extinción (Rojas-Bracho y Taylor, 1999), varios investigadores ya han documentado una relación positiva entre los flujos de agua dulce y las poblaciones de otras especies marinas, como la totoaba, la curvina golfina, el camarón azul y el camarón café (Galindo-Bect *et al.*, 2000; Rodríguez *et al.*, 2001a; Rowell *et al.*, 2005). Estas últimas tres especies se encuentran dentro de las principales áreas pesqueras en el Alto Golfo de California. Los flujos de

Cuadro 1. Necesidades de agua para satisfacer las necesidades ambientales en los distintos humedales del delta del río Colorado, incluyendo la salinidad máxima recomendada.

Zona	Millones m ³ /año	Salinidad, ppm	Hectáreas
Corredor Ripario	102-204	< 2,000	45,000
Río Hardy	38-63	3,500	8,000
Ciénega de Santa Clara	132	3,000	20,000
Laguna Del Indio	25-38	3,800	1,500
Estuario	95-158	3,500	15,000

agua no solamente llevan nutrientes al ecosistema estuarino, sino que incrementan la cantidad y calidad del hábitat, aumentando las poblaciones de especies que son la base de la cadena trófica (Aragón-Noriega y Calderón-Aguilera, 2000; Calderón-Aguilera *et al.*, 2003).

ALTERNATIVAS DE RESTAURACIÓN

La regeneración natural que ha ocurrido en el corredor ripario en respuesta a los flujos del río Colorado, así como la restauración accidental de la Ciénega de Santa Clara y el mantenimiento de los humedales del río Hardy con agua de drenaje agrícola, han demostrado que el delta del río Colorado es un ecosistema resiliente que puede ser restaurado. La fórmula es simple y compleja a la vez: hay que añadir agua.

Afortunadamente, en los últimos años se han desarrollado mecanismos para poder asignar flujos de agua con fines ambientales en el delta del río Colorado. Con los cambios en la Ley de Aguas Nacionales en 2004, el ambiente finalmente fue reconocido como un usuario legal del agua en México, lo que abrió las posibilidades de adquirir, rentar o concesionar volúmenes de agua con fines ambientales.

En particular, iniciamos un proceso para la adquisición de derechos de agua en el valle de Mexicali, con fines de restablecer los flujos base en el corredor ripario. Para este fin se formó el Fideicomiso de Agua para la Restauración del Delta del Río Colorado, con la participación de organizaciones mexicanas (Pronatura México y Pronatura Noroeste) y estadounidenses (Sonoran Institute y Environmental Defense Fund). Por medio del fideicomiso ya se han logrado adquirir y dedicar al ambiente un flujo de más de cuatro millones de m³ por año.

Por otra parte, también se aseguraron flujos para el río Hardy, por medio de un convenio entre organizaciones ambientales y el gobierno del estado de Baja California, en el cual se asegura el 30% del efluente tratado de la

Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Arenitas. Esto representa un máximo de 800 l/s, lo que duplica el flujo de agua en el Hardy. Adicionalmente, el convenio sirvió de base para la creación de un humedal de 100 ha, para la creación de hábitat y para dar tratamiento adicional al efluente. Actualmente, el humedal alberga cerca de 12 mil aves de más de 150 especies.

Sin embargo, para poder asegurar el agua necesaria para estos humedales se requiere de la colaboración binacional y del reconocimiento de que el delta y la desembocadura en el Alto Golfo forman parte de la cuenca, brindando servicios ambientales que van más allá de las fronteras. Esto será particularmente relevante para asegurar los pulsos de inundación, no sólo por el volumen de agua requerido, sino porque para poder llevarlos a cabo se requiere el almacenamiento de volúmenes en las presas en Estados Unidos y la coordinación de la infraestructura hidráulica para el desfogue de estos flujos en las cantidades y periodos requeridos.

De manera similar, asegurar los flujos para la Ciénega de Santa Clara requiere de la colaboración entre México y Estados Unidos, partiendo del reconocimiento de que la Ciénega provee hábitat para aves migratorias y especies protegidas en ambos países.

Al mismo tiempo que se avanza con la asignación de agua para la naturaleza, también se ha avanzado con la implementación de proyectos en sitios particulares que presentan altas oportunidades de restauración, en los que se llevan a cabo obras de restauración activa, con la remoción de especies exóticas y la plantación de especies nativas, principalmente mezquite dulce (*Prosopis glandulosa*), mezquite tornillo (*Prosopis pubescens*), sauces y álamos.

Estas actividades han involucrado la participación de una docena de organizaciones, incluyendo a Pronatura Noroeste, Sonoran Institute y la Asociación de Usuarios de los ríos Hardy y Colorado (AEURHYC), y han servido para dar impulso a los esfuerzos de restau-

ración del delta del río Colorado a nivel gubernamental y comunitario. Hasta el momento se han implementado proyectos de restauración en 14 sitios a lo largo de ambos ríos (Hinojosa-Huerta *et al.*, 2005).

HACIA EL MANEJO INTEGRAL DE LA CUENCA

En el año 2000, la cuenca del río Colorado entró en un periodo de sequía que se ha prolongado por diez años (Christensen y Lettenmaier, 2006). El almacenamiento de las presas se encuentra en los niveles más bajos de la historia (el lago Mead, por ejemplo, se encuentra a 38% de capacidad), mientras que el número de usuarios de agua sigue creciendo. Por primera vez existe un riesgo inminente de que ocurra una declaratoria de escasez, lo que implicaría recortes en las asignaciones de agua, principalmente para los estados de la cuenca alta, y para Arizona y Nevada, así como recortes en las asignaciones a México, algo que nunca ha ocurrido.

Por otra parte, los estudios de variabilidad climática señalan que la temperatura media en la cuenca podría elevarse de 1.8 a 4.5°C, lo que implica una disminución de la precipitación en forma de nieve, cambio en la estacionalidad de flujos máximos, incremento en la evapotranspiración y disminución de flujos en el río (Rajagopalan *et al.*, 2009). Algunos estudios estiman que esta reducción de flujos para el 2050 podría ser de hasta 20-30% del volumen promedio del río durante el presente siglo (Barnett y Pierce, 2009).

Al mismo tiempo, por primera vez se están considerando las necesidades de agua para la naturaleza y la asignación de flujos ambientales para el delta del río Colorado de manera binacional. Esta conjunción de escenarios ha creado una serie de crisis en el sistema, pero también una serie de oportunidades para revalorar el uso y distribución del agua en la cuenca.

Esto ha motivado la apertura de un diálogo binacional, con la participación de los

gobiernos federales de ambos países, pero también con la de los estados y organizaciones de la sociedad civil en la cuenca, tanto de México como de Estados Unidos. En este proceso se buscan soluciones conjuntas para satisfacer las necesidades de agua, mientras se establecen criterios de sustentabilidad, trabajando en proyectos de conservación y eficiencia, identificación de nuevas fuentes, acciones ambientales y mejoras en el manejo del sistema.

En el trabajo conjunto se han buscado mecanismos para mejorar eficiencia en el uso del agua. Debido a que las actividades agrícolas en ambos países utilizan casi el 80% del flujo anual del río, se espera que esta actividad sea la que ahorre mayores volúmenes. Sin embargo, es importante considerar que el uso agrícola genera agua de retorno o de segundo uso, que normalmente es usada río abajo, ya sea para otros usos consuntivos, en la recarga de los acuíferos o en el mantenimiento de humedales. Por otra parte, los volúmenes conservados normalmente no se dedican al ambiente, pues se le da prioridad a usos tradicionales, como el abastecimiento de agua a los centros poblacionales.

En este sentido, se requiere una redefinición del término de conservación de agua bajo el cual un menor consumo en actividades consuntivas resulte efectivamente en menores volúmenes extraídos del río para que se puedan asignar flujos ambientales a lo largo de la cuenca. También es importante la redefinición de eficiencia en el uso de agua, en donde no sólo se considere la eficiencia hidráulica en conducción, sino también la optimización de los beneficios económicos, sociales y ambientales de la asignación y uso del agua.

Sin duda este es un punto crítico en el manejo del río Colorado: que finalmente se pueda reconocer al ambiente como un usuario válido del agua del río. De esta manera se podría lograr un manejo integral de la cuenca, a pesar de las fronteras.

LA CUENCA BINACIONAL DEL RÍO TIJUANA¹

PAUL GANSTER

LA CUENCA DEL RÍO TIJUANA (CRT), que se extiende a ambos lados del límite internacional entre México y Estados Unidos, en la región de Baja California y California, es un sistema natural complejo caracterizado por diversos microclimas, numerosas especies amenazadas o en riesgo y sistemas humanos con dinámicas contrastantes.² La CRT incluye la mayor parte de las ciudades mexicanas de Tecate y Tijuana, y la ciudad de San Diego por el lado estadounidense. El crecimiento de la actividad humana presenta varios patrones de desarrollo: uno intensivo en la cuenca baja de ambos países y en la parte media alrededor de Tecate y Valle de Las Palmas, al este de Tijuana, y un desarrollo extensivo en las partes altas que corresponden a zonas rurales. No sólo el acelerado crecimiento demográfico y la urbanización hacen difícil la gestión de la cuenca, sino también la coordinación entre las administraciones de México y de Estados Unidos.

La cuenca del río Tijuana abarca un área de 4,430 km², de la cual aproximadamente dos tercios se encuentran en México y un tercio en Estados Unidos y se ubica en los estados de Baja California y California. La porción mexicana de la CRT está en su mayoría en los municipios de Tecate y Tijuana y una pequeña parte dentro del municipio de Ensenada. En el lado estadounidense de la cuenca, 93% se encuentra bajo la jurisdicción del Condado de San Diego y una pequeña parte dentro de las ciudades de San Diego (Otay Mesa y San

Ysidro) e Imperial Beach. También incluye reservas indígenas como las de Campo (kumiai) y Manzanita, y porciones de La Posta y Cuyapaipe. Estas naciones tribales tienen soberanía jurídica semejante a un estado en Estados Unidos.

Las comunidades indígenas de la cuenca incluyen a Juntas de Nejí, una comunidad reconocida a nivel federal, así como varios asentamientos indígenas tradicionales, como Peña Blanca, San José de Tecate y Aguaje de la Tuna, y poblaciones indígenas urbanizadas en Tecate, Valle de Las Palmas, El Hongo y otras ciudades.

La porción este de la cuenca incluye cadenas montañosas con elevaciones de hasta 1,900 m. El mayor sistema fluvial de la cuenca está constituido por los ríos Tecate, Cottonwood y Alamar. Éstos confluyen en el río Las Palmas, en la zona urbana de Tijuana, para más adelante constituir el río Tijuana.

El río Tijuana cruza hacia Estados Unidos y desemboca en el Océano Pacífico, justo al norte de la frontera internacional, en la Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana, un invaluable humedal protegido. La CRT se caracteriza por laderas empinadas y accidentadas y un clima mediterráneo, donde la mayor parte de la precipitación anual es producida por escasas e intensas tormentas invernales. La precipitación total anual varía de 150 mm en la zona costera a 650 mm en las zonas montañosas elevadas; las temperaturas varían de 8 a 18°C, aunque en las zonas montañosas se registran



FOTOS: PAUL GANSTER

temperaturas menores a 0°C en los inviernos. La cobertura vegetal está dominada por matorral costero de salvia y chaparral, humedales (bosques riparios y estuarios) y bosques de encinos y coníferas en las montañas.

Los patrones climáticos, incluyendo la precipitación y la temperatura, en combinación con los cambios abruptos de elevación y la influencia del Océano Pacífico, han confluído en la creación de muchos micro-hábitats que acogen una gran diversidad de plantas y animales. Esta cuenca está localizada en la provincia florística de California-Baja California, identificada por Conservación Internacional como una de las 25 zonas con mayor diversidad biológica del mundo (*hot spots*), por el elevado número de especies endémicas que habitan en 30% o menos de su hábitat original.³

La CRT es el hogar de muchas especies de flora y fauna, amenazadas o en riesgo, algunas listadas en México, otras en Estados Unidos o en ambos países.

Debido a las condiciones climáticas semiáridas del mediterráneo, la mayoría de los ríos son intermitentes, con caudales máximos entre noviembre y abril. Las presas de la cuenca de ambos países capturan parte de los escurrimientos; los acuíferos también almacenan agua para el suministro de usuarios locales. Aproximadamente 95% del agua que consumen los usuarios dentro de la cuenca proviene principalmente del río Colorado en el caso de Tecate y Tijuana, y del mismo río y del norte de California en el caso de San Diego, y es proporcionada por agencias de ambos países.

La variabilidad en la precipitación, la producción limitada del acuífero y la restringida capacidad de almacenamiento ante el crecimiento de la población, conllevan la necesidad de importar el agua de otras cuencas, de desalinizar agua de mar y de realizar acciones de conservación y reutilización del recurso hídrico en la propia cuenca.

Se están realizando algunos esfuerzos relacionados con la rehabilitación de los ríos en la CRT con el fin de satisfacer las necesidades locales y dar mantenimiento a los ecosistemas riparios. Por ejemplo, la ciudad de Tecate ha instalado un humedal artificial para capturar el agua proveniente de la planta de tratamiento y con ello restaurar la vegetación nativa y promover la recarga del acuífero.

Asimismo, dentro de la zona urbana de Tijuana se han establecido planes para evitar el recubrimiento del río Alamar con concreto, utilizando un enfoque ecohidrológico de protección de taludes mediante material pétreo y vegetativo (*rip-rap*), así como un canal natural para el control de inundaciones; esto permitirá la recuperación de tierras para la urbanización, la restauración de la vegetación riparia y la recarga del acuífero.

En la CRT hay cuatro presas: Morena y Barrett en la parte alta de la cuenca, en el Condado de San Diego, las cuales capturan agua de lluvia; la presa Carrizo al suroeste de Tecate, que almacena agua proveniente del acueducto del río Colorado; y la presa Rodríguez en el sureste de Tijuana, que almacena escurrimientos. Durante los periodos de sequía, el nivel del

agua de todas las presas, excepto Carrizo, disminuye considerablemente. Por ejemplo, en julio del 2004, después de tres años de sequía, el lago Morena tenía sólo 10% de su capacidad máxima de almacenamiento.⁴ El agua importada genera un constante flujo artificial del río, diferente al régimen natural intermitente. Ante ello, los gestores de la cuenca, particularmente los del estuario en la desembocadura del sistema, tienen el reto de mantener un flujo anual diferente al régimen tradicional de escurrimiento de invierno, que abre la conexión hacia el océano.

La Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana y la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tecate han hecho un progreso notable en las últimas décadas para extender el servicio de agua potable, el servicio de alcantarillado y el servicio de tratamiento de agua en las zonas urbanas de Tijuana y Tecate, en concordancia con el crecimiento de la población y la urbanización. Sin embargo, algunas zonas sin alcantarillado y fugas en el sistema colector contaminan el río, particularmente después de las tormentas. Estas aguas pluviales fluyen cuenca abajo y contaminan el mar hacia el norte y sur de la desembocadura del río Tijuana. Mientras la contaminación proveniente de las aguas residuales industriales es mínima, la contaminación no puntual produce niveles elevados de contaminantes biológicos, así como ciertos niveles de metales y otros contaminantes (Gersberg *et al.*, 2000; Villacorta y Martínez, 2005).

Aunque en una proporción menor al agua total en la CRT, los acuíferos son también importantes. En la parte mexicana, los acuíferos más importantes cubren los valles Tijuana-Alamar, Tecate y valle de Las Palmas.⁵ Estos tres acuíferos están sobreexplotados y también enfrentan amenazas por contaminación agrícola, urbana e industrial. En San Diego, el acuífero que corresponde al valle bajo del río Tijuana está conectado con el acuífero en Tijuana. El uso excesivo desde la década de 1970 disminu-

yó el nivel del agua y produjo una intrusión salina en porciones del acuífero de la parte baja del valle. En la parte alta de la CRT, del lado estadounidense, la intensa demanda de agua por parte de asentamientos rurales cerca de Campo, Boulevard y otras áreas ha resultado en una sobreexplotación local de la misma. Las zonas rurales en la parte alta de la CRT en México enfrentan una crisis similar con el suministro de agua subterránea, aunque allí el ritmo de crecimiento es menor.

Dentro de la parte estadounidense de la cuenca, varias agencias están enfocadas en la protección del hábitat. Por ejemplo, el programa “Conservación de Especies Múltiples” (*Multiple Species Conservation*) es una iniciativa local que busca un equilibrio entre conservación y desarrollo dentro del Condado de San Diego. Como parte de las iniciativas federales se encuentran el Bosque Nacional Cleveland (*Cleveland National Forest*), la Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana (*Tijuana River National Estuarine Research Reserve*) y la Oficina de Administración de Tierras (*Bureau of Land Management*).

En un esfuerzo conjunto, conocido como la Iniciativa de Conservación Binacional de Las Californias,⁶ grupos mexicanos ambientalistas e instituciones gubernamentales, junto con sus contrapartes de Estados Unidos, han estado trabajando en el desarrollo de áreas protegidas transfronterizas para conectar hábitats en California y Baja California. Al día de hoy, el único proyecto transfronterizo en la CRT es la creación del Rancho La Puerta A.C. en Tecate, con una servidumbre ecológica en las laderas del Cerro Cuchumá adyacentes a las tierras de la Oficina de Administración de Tierras (BLM, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, que prohíbe un desarrollo antrópico en el futuro.

Con el objetivo de disminuir o evitar el paso de migrantes ilegales, se inició en 1994 la construcción del muro fronterizo, el cual ha

tenido impactos positivos y negativos en los sistemas naturales de la cuenca (Córdoba y de la Parra, 2007). Además la Patrulla Fronteriza recientemente construyó un muro sólido y caminos de acceso paralelos que separan las tierras del BLM con las instalaciones ecológicas, originando impactos ecológicos que aún son poco claros.

La flora y fauna de la cuenca han sido fuertemente impactadas por el crecimiento urbano, la ganadería, la construcción rural, la fragmentación del hábitat y la extracción de arena, entre otras actividades. Ésto ha afectado especialmente el matorral costero de salvia y chaparral, mientras que los bosques de enebros han sido deteriorados por su uso para leña y postes. La disminución de agua en los ríos y arroyos, junto con la extracción de arena de sus cauces, ha causado el deterioro de los ecosistemas riparios. Finalmente, la introducción de especies exóticas ha alterado los ecosistemas de la cuenca, en particular la introducción de *Arundo donax* y *Tamarix*.

En la desembocadura del río Tijuana se ubica una de las pocas marismas que quedan en la costa de California, donde se ha perdido el 90% del hábitat de humedales. Este pequeño estuario costero intermareal⁷ permite la reproducción, alimentación y anidamiento de más de 370 especies de pájaros nativos y migratorios (Pryde *et al.*, 2005). Sin embargo, los cañones adyacentes a Tijuana—como es el caso de Los Laureles—generan, con las tormentas hibernales, grandes cantidades de sedimentos que amenazan el funcionamiento del estuario. El municipio de Tijuana, la Reserva Nacional de Investigación del Estuario del Río Tijuana y el sistema de parques de California han iniciado un trabajo conjunto con vistas a reducir la carga de sedimentos, tema que podrá ser resuelto sólo mediante la cooperación binacional.

En el año 2000, la CRT presentó una población estimada de 1.4 millones de personas, con un 97% viviendo en la porción mexicana

de la cuenca. Esta población podría duplicarse para el año 2030 si la urbanización de San Diego, Tijuana y los alrededores de Tecate continúa. El mayor aumento de población proyectado se encuentra dentro o en las zonas adyacentes de Tijuana, ciudad que históricamente ha tenido altas tasas de crecimiento. Por ejemplo, entre 1990 y 2000 la gran región de Tijuana creció a una tasa anual de 5.4%, duplicando su población en tan solo 13 años; en contraste, en el mismo periodo la tasa anual de San Diego fue de 1.2%, lo que indica una duplicación de su población en 58 años.

Otras áreas de gran crecimiento poblacional serán la Mesa de Otay, Tecate y el Valle de Las Palmas, hacia el sureste de la zona urbana de Tijuana. Tienen una proyección de crecimiento de más de un millón de personas en las próximas décadas.⁸ Con esta perspectiva es posible que la zona urbanizada de Tijuana se extienda hacia el este uniéndose con Tecate, lo cual crearía una barrera impenetrable para el corredor natural que atraviesa desde las montañas de Otay, en San Diego, hacia las montañas al sureste de Tijuana. Además, en las partes altas de la cuenca de ambos países aumenta el desarrollo de asentamientos aislados que fragmentan el hábitat, amenazan especies de plantas y animales, y contribuyen a la sobreexplotación de las aguas subterráneas, lo que compromete la viabilidad de los acuíferos.

El crecimiento de los asentamientos y los cambios en la cobertura vegetal han intensificado los efectos de los desastres naturales en la cuenca. La ganadería, los cambios de vegetación y la extracción de arena, entre otras actividades, han incrementado la escorrentía por las tormentas y, como consecuencia, las inundaciones de las áreas bajas, especialmente en la zona urbana de Tijuana y el valle del río en San Diego.⁹

En las últimas décadas, las conexiones transfronterizas han aumentado en muchos frentes. Mediante los flujos migratorios y el crecimiento natural, la población de origen

mexicano en San Diego ha crecido hasta el 30% del total, lo que significa que un número creciente de residentes de la cuenca tiene familia en ambos lados de la frontera.

Los vínculos económicos a través de la frontera son también numerosos e importantes. La industria maquiladora, que está conectada al mercado de consumo de los Estados Unidos y tiene a menudo la gestión de los servicios en San Diego, empleaba en 2006 cerca de 176,000 trabajadores en Tijuana. Alrededor del 7% de la fuerza laboral de Tijuana, o unas 40,000 personas, trabaja en el otro lado de la frontera, en San Diego, y muchos consumidores de Tijuana regularmente compran “al otro lado”, apoyando al sector de venta en zonas como San Ysidro, Bonita y Chula Vista. Asimismo, los visitantes de San Diego contribuyen al sector turismo en Tijuana, aunque por los actuales problemas de seguridad las visitas internacionales hacia Tijuana han disminuido significativamente.

Los vínculos económicos y sociales entre Tijuana y San Diego pueden verificarse en la intensa actividad de los puertos de entrada en la cuenca, que son San Ysidro-Puerta México, Otay Mesa-Mesa de Otay, Tecate-Tecate, además de un nuevo cruce en la parte este de Otay Mesa, hoy en construcción. En 2008, estos puertos de entrada registraban el paso de más de 46 millones de pasajeros y peatones, más de 19 millones de vehículos de pasajeros y casi un millón de camiones pesados, todos hacia el norte.¹⁰

A pesar de los vínculos económicos a través de la frontera, San Diego y Tijuana tienen niveles muy diferentes de desarrollo. San Diego presenta una economía dinámica basada en los gastos militares, el turismo, la biotecnología, la industria de software y electrónica, así como los servicios financieros. A pesar de que Tijuana es una de las regiones más prósperas de México, los contrastes económicos con San Diego son sorprendentes. Dependiendo del tipo de cambio peso-dólar, la economía regional de

San Diego es aproximadamente 15 veces mayor que la de Tijuana y los salarios mínimos son cerca de diez veces mayores en San Diego. No obstante el dinámico crecimiento económico de la cuenca, especialmente durante las últimas décadas del siglo xx, la distribución del ingreso se ha vuelto más desigual. Los beneficios del Tratado de Libre Comercio y la expansión económica se han acumulado en gran medida en los grupos de ingresos medios y altos, mientras que el número de personas en situación de pobreza ha crecido. Esto implica que la participación efectiva de estos grupos cívicos en San Diego y Tijuana sea difícil.¹¹

Los recursos de los tres órdenes de gobierno para la infraestructura, los servicios sociales, la regulación ambiental y otros servicios urbanos son también significativamente mayor al norte de la frontera. Estas asimetrías económicas significan, a nivel práctico, que los recursos y prioridades de los gobiernos y de los ciudadanos de la CRT de los EE.UU. y de México son a menudo muy diferentes. Por ejemplo, la conservación es una prioridad alta en San Diego y se han dedicado considerables fondos a establecer un plan de conservación para la región —que incluye parte de la cuenca— como el Programa de Conservación de Especies.¹² Sin embargo, en el área de Baja California, perteneciente a la cuenca, gobierno y residentes dan más importancia a la provisión de servicios básicos, como agua potable, recolección de residuos sólidos, tratamiento de aguas residuales, pavimentación y alumbrado. Así, cuando las autoridades mexicanas y estadounidenses discuten sobre temas de la CRT, llegan a la mesa de negociación con diferentes perspectivas y expectativas.

La cuenca binacional incluye diversos recursos culturales e históricos. Algunos de ellos son el Ferrocarril Campo-Tecate, el parque Hidalgo en Tecate, el Museo del Ferrocarril en Campo, el Centro Cultural en Tijuana, varios edificios históricos en Tijuana, Tecate y Campo, así como también sitios arqueológicos

de culturas indígenas americanas y mexicoamericanas importantes. El pueblo kumiai tradicionalmente ocupó el territorio completo de la CRT, expandiéndose más de 100 km al norte y sur del límite internacional actual, y desde el Océano Pacífico hasta el desierto cerca del río Colorado. Hoy en día, el pueblo kumiai en la porción estadounidense de la cuenca ha perdido su lengua materna y muchas prácticas culturales. Sin embargo, éstas han sido mantenidas en el lado mexicano, donde sus líderes están hoy ayudando a reintroducir ciertos elementos culturales y de lenguaje en la parte norte de la frontera.

EL MANEJO BINACIONAL DE LA CUENCA

En México, el gobierno federal ha tomado el liderazgo de las iniciativas de manejo de la cuenca, mediante esfuerzos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del Instituto Nacional de Ecología (INE), al tiempo que el estado de Baja California reconoce la importancia de avanzar en esa dirección. En los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*) ha proporcionado apoyo y facilidades para que los estados y localidades realicen un manejo de cuenca, en primera instancia desde la perspectiva del Agua Limpia (*Clean Water*).¹³ Asimismo, varias entidades, entre ellas California, han desarrollado programas sólidos de manejo de cuencas. A pesar de que tanto México como Estados Unidos han reconocido la necesidad de un manejo integral de las cuencas, no han podido hasta ahora describir los mecanismos necesarios para su ejecución en el contexto internacional.

Las agencias federales y estatales de ambos países así como las agencias locales interesadas se han mostrado renuentes a pensar más allá de la frontera, a mirar toda la cuenca y no sólo la porción de la competencia específica de la institución involucrada. Este enfoque no es compatible con las realidades de las cuen-

cas binacionales ni los principios bien establecidos o las mejores prácticas de manejo de cuencas. La gestión de la cuenca del río Tijuana es una tarea de enormes proporciones, dada la dinámica de urbanización, crecimiento demográfico y expansión económica en ambos lados de la frontera, además de las asimetrías y diferencias básicas en los sistemas de gobernanza a través del límite de la cuenca; por ello, la cooperación transfronteriza internacional es particularmente difícil (Ganster, 2005). En México, los temas relacionados con las cuencas hidrográficas están vinculados al gobierno federal, mientras que en los Estados Unidos son los diferentes estados los que toman la iniciativa. En ese sentido, México ha iniciado esfuerzos de manejo de cuencas a nivel nacional a través del programa de Consejos de Cuencas, mientras que el estado de California ha realizado los planes de manejo de cuencas, principalmente para el control de la contaminación de fuentes difusas.¹⁴

Por su parte, la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) aborda una serie de cuestiones relativas al agua en la cuenca del río Tijuana, pero no las enfoca bajo un marco de manejo integral. La sección americana de la CILA estableció el Foro de Ciudadanos del Sur de la Bahía (SBCF, por sus siglas en inglés) en 2002 para facilitar el intercambio de información sobre las actividades de la Comisión en la región de San Diego y de la cuenca del río Tijuana. La CILA ha establecido también un grupo de trabajo para el delta del río Colorado, con base en la Minuta 306, que considera los problemas del delta en el contexto transfronterizo.

Bajo el Programa Frontera 2012 México-Estados Unidos, se estableció el Grupo de Trabajo de la Cuenca del Río Tijuana, que mediante reuniones regulares está abordando temas de la cuenca de mutuo interés para ambos países.¹⁵ Inicialmente, el Grupo de Trabajo fue parte de un esfuerzo originado por distintas instituciones, como las universidades locales de ambos países (Universidad Estatal

de San Diego, El Colegio de la Frontera Norte y la Universidad Autónoma de Baja California), agencias gubernamentales, grupos ecologistas, grupos tribales, y otros actores interesados en el desarrollo conceptual de un plan de manejo para la CRT. Estas entidades formaron en el año 2002 el Consejo Consultivo de la Cuenca Binacional del Río Tijuana (BWAC, por sus siglas en inglés) con fondos provenientes del estado de California a través de la Universidad Estatal de San Diego (Castro-Ruiz *et al.*, 2006). Esta colaboración fue la culminación de décadas de experiencia de investigación en la CRT y de estudios de cuencas hidrográficas iniciados en la década de 1990. Después de un proceso de investigación, consulta con expertos y foros públicos en toda la cuenca, el BWAC generó en 2005 el documento *Una visión binacional para la cuenca del río Tijuana*.¹⁶ Este documento (que llamamos proyecto Visión) proporciona información básica sobre la CRT, incluyendo problemas prioritarios del medio ambiente, calidad y cantidad del agua, características y problemas socioeconómicos, las consecuencias de la inacción y una serie de recomendaciones específicas para mejorar la sustentabilidad de los sistemas naturales y humanos de la cuenca.¹⁷

Una preocupación clave identificada en el proceso de elaboración de dicho trabajo fue la necesidad de crear mecanismos permanentes para la colaboración transfronteriza formal que podrían abordar la planificación de base y los desafíos de gestión de la CRT binacional. Como complemento del esfuerzo realizado en la elaboración del proyecto, los investigadores de SDSU, UABC y COLEF trabajaron con los cónsules generales de los Estados Unidos y México, los representantes de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (secciones de México y Estados Unidos), la Junta de Control de Recursos Hídricos de California, la Dirección de Ecología de Baja California, la Comisión Nacional del Agua de México y la EPA de los Estados Unidos para crear una

comisión técnica que identifique las acciones específicas de coordinación que deben realizar estas agencias en la cuenca.

Convocado por la autoridad del Mecanismo de Enlace Fronterizo del Departamento de Estado norteamericano y del Ministerio de Relaciones Exteriores mexicano, el grupo técnico se reunió varias veces para visitar diferentes lugares de la cuenca y para compartir información. Aunque el esfuerzo fue prometedor, éste terminó cuando el proyecto Visión concluyó con su informe final. No obstante, desde la elaboración del proyecto Visión, las actividades de investigación, planeación y gestión han avanzado en varios frentes. En primer lugar, la investigación científica continúa en las universidades locales en temas como cambios de cobertura del suelo en la cuenca, la producción de sedimentos y su acumulación en las partes bajas, construcción de humedales artificiales, la ecología del estuario y los problemas de calidad del aire, entre otros.¹⁸ Asimismo, una serie de esfuerzos continúan en la cuenca baja, dirigidos principalmente a la remediación y prevención de impactos provenientes de los cañones situados justo al otro lado de la frontera, en Tijuana, y de la construcción del muro fronterizo llevado a cabo por las autoridades de los Estados Unidos.

Los cañones Los Laureles y Matadero son zonas con alta densidad de asentamientos no planificados y sin una infraestructura urbana adecuada. También son fuente de sedimentos y grandes cargas de basura durante las tormentas invernales. Organismos estatales y locales estadounidenses, mediante una serie de subvenciones, han financiado esfuerzos para abordar tales problemas. Éstos han tenido cierto éxito en establecer una colaboración con las autoridades mexicanas para el desarrollo de proyectos específicos, tales como el uso de adoquines permeables para la pavimentación de calles y el control de erosión. Una iniciativa reciente es el Equipo de Recuperación del Valle del Río Tijuana, esta-

blecido para resolver los problemas de basura y sedimentos en el valle bajo.¹⁹

Se considera que estos esfuerzos de colaboración, el proyecto Visión, interacciones informales a través de la frontera y los debates de gobierno a gobierno en materia de gestión, han establecido una base sólida para una estructura formal binacional para el manejo de cuencas.

Sin embargo, los dos gobiernos federales necesitan generar liderazgo para consolidar un acuerdo y mecanismos para la colaboración diaria sobre los detalles de la gestión integrada de la cuenca binacional del río Tijuana. Estas funciones deben residir en instituciones mexicanas y estadounidenses apropiadas a fin de proporcionar una continuidad institucional para esta compleja tarea.

¹ La versión completa en inglés se encuentra en el DVD anexo.

² Una fuente importante sobre la CRT y base de la mayor parte de este capítulo es *A Binational Vision for the Tijuana River Watershed*, San Diego, Institute for Regional Studies of the Californias, San Diego State University, 2005. Una versión en español de este documento está disponible en <http://trw.sdsu.edu>.

³ Para más información sobre esta provincia florística véase: http://www.biodiversityhotspots.org/xp/hotspots/california_floristic/Pages/default.aspx

⁴ Véase Paul Ganster, "Introduction," en *Tijuana River Watershed Atlas/Atlas de la Cuenca del Río Tijuana* (San Diego, SDSU Press and IRSC, 2005), p. 2: fotografía del lago Morena en 2004.

⁵ *A Binational Vision*, pp. 46-49.

⁶ Véase el informe del proyecto en: <http://consbio.org/what-we-do/las-californias-binational-conservation-initiative>.

⁷ Para excelentes descripciones del estuario ver: http://www.parks.ca.gov/-page_id=669 y http://www.eoearth.org/article/Tijuana_River_National_Estuarine_Research_Reserve,_California. También véase Phillip Roullard, Tijuana River Estuary, "Tijuana River National Estuarine Research Reserve."

⁸ <http://www.cnnexpansion.com/obras/valle-las-palmas>.

⁹ Natural Disasters and the Environment along the U.S.-Mexico Border: Eleventh Report of the Good Neighbor Environmental Board (Washington, D.C., 2008), disponible en versiones en inglés y español en: http://www.epa.gov/ocem/gneb/gneb_reports_advice.htm.

¹⁰ Fuente: U.S. Department of Transportation, Research and Innovative Technology Administration, Bureau of Transportation Statistics, Border Crossing/Entry Data; basado en datos de U.S. Department of Homeland Security, Customs and Border Protection, OMR database. <http://www.transstats.bts.gov/BorderCrossing.aspx>.

¹¹ *A Binational Vision for the Tijuana River Watershed*, San Diego, Institute for Regional Studies of the Californias, San Diego State University, 2005, p. 127.

¹² Véase: <http://www.sdcounty.ca.gov/dplu/mscp/>.

¹³ Véase EPA watershed website: <http://www.epa.gov/owow/watershed/>.

¹⁴ Para más información sobre el programa de cuencas de California: http://cwp.resources.ca.gov/related_links.php; CONAGUA mantiene una página sobre Consejos de Cuencas, con énfasis en la participación pública para la planeación del agua: <http://www.consejosdecuenca.org.mx/index.php>; INE tiene una página web con datos importantes sobre todas las cuencas de México, incluida la cuenca del río Tijuana: <http://www.ine.gob.mx/cuencas-proyectos>.

¹⁵ Para más información sobre este Grupo de Trabajo del Programa Frontera 2012: <http://www.epa.gov/usmexicoborder/framework/index.html>.

¹⁶ Versiones en inglés y español de este documento disponibles en <http://trw.sdsu.edu>.

¹⁷ Para más información sobre las recomendaciones, revisar el texto en su versión original (inglés) en el DVD adjunto.

¹⁸ Por ejemplo, el Southwest Consortium for Environmental Research and Policy ha apoyado recientemente proyectos de investigación sobre producción de sedimentos, calidad de aire y cambios de cobertura vegetal en la CRT: <http://www.scerp.org>.

¹⁹ Para un listado de agencias que cooperan en las actividades de manejo en la reserva estuarina del río Tijuana, véase <http://trnerr.org/>. Para un esfuerzo importante del Equipo de Recuperación del Valle del Río Tijuana, véase: <http://www.tjriverteam.org/>.

CUENCAS HIDROGRÁFICAS FRONTERIZAS DEL SUR DE MÉXICO



Leyenda

- Cuenca hidrográfica
- Rio principal
- Cuerpo de agua
- Ciudad principal (más de 50.000 hab.)

País

- México
- Guatemala
- Belize
- El Salvador
- Honduras

Fuentes cartográficas:

Beritez, J. (2010). Cuencas hidrográficas de los ríos Candelaria y Hondo.

Cuevas, M.L., Gamdo A., Sotelo E., (2008). Regionalización de las cuencas hidrográficas de México. INE-SEMARNAT. Obra derivada de INEGI-INE-CONAGUA, (2007). Mapa de cuencas hidrográficas de México (escala 1:250000).

Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. (2004). Belize. Cuencas y red hidrográficas y cuerpos de agua, escala 1:250000.

Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. (2004). Guatemala. Cuencas y red hidrográficas y cuerpos, escala 1:250000.

INEGI (1997). Hidrología superficial, escala 1:250000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

Autor:
José Luis Pérez Damián

Editor cartográfico:
José Luis Pérez Damián



LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA: PERFIL Y PERSPECTIVAS PARA SU CONSERVACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE

IGNACIO MARCH MIFSUT Y MARCO CASTRO¹

DE TODAS LAS CUENCAS fronterizas, la cuenca del río Usumacinta es la de mayor extensión y mayor desarrollo hidrológico². Esta cuenca abarca una superficie total de más de siete millones de hectáreas, una superficie equivalente a casi todo el estado de Chiapas, quedando el 58 % en territorio de Guatemala y el resto en México (Cuadro 1). Dentro de la cuenca del Usumacinta se ubica la región de la selva Lacandona en México, y los Cuchumatanes, los Altos de Guatemala y una buena parte del Petén guatemalteco.

Cuadro 1. Distribución de la superficie de la cuenca del río Usumacinta por entidad política.

Pais	Entidad política	Superficie correspondiente a la cuenca (ha)	Porcentaje del Total
México	Chiapas	2,175,718	
	Tabasco	724,547	
	Campeche	177,987	
	Subtotal	3,078,251	42.1
Guatemala		4,241,271	57.9
Total		7,319,522	100.00

De los aproximadamente 950 km lineales de la frontera sur de México que hacen contacto con Guatemala y Belice, más de la mitad (550 km) se encuentran dentro de la cuenca del Usumacinta. Si tomamos la distancia del flujo hacia la desembocadura como una definición de cuenca alta y baja, resalta que en el caso del Usumacinta, importantes porciones de la cuenca alta se encuentran principalmente en Guatemala. La parte baja de la cuenca es casi exclusivamente mexicana, lo que implica que México es el que recibe en última instancia los impactos acumulados sobre la red hidrológica de los procesos de transformación y desarrollo que ocurren en el resto de la cuenca.

La cuenca del Usumacinta tiene una impresionante red hidrológica por estar en una de las regiones con más altos niveles de precipitación de toda Mesoamérica y por poseer un relieve complejo, sobre todo en las partes altas y medias en México, así como en las cabeceras en los Altos de Guatemala (Figuras 1 y 3 en DVD adjunto). Entre los cuerpos de agua lénticos de la cuenca del Usumacinta sobresalen en México los lagos de Nahá, Metzabok, Montebello, Lacanjá y Miramar, y en la parte baja los importantes humedales de Catazajá en Chiapas y Emiliano Zapata en

Tabasco; por su parte, en Guatemala encontramos los lagos Lachuá, Petén Itza y la laguna Escondida (Figura 2 en DVD adjunto).

Actualmente, la población asentada en la cuenca del río Usumacinta es de aproximadamente 1,776,232 habitantes, mayormente localizados en las partes altas de la cuenca (Cuadro 2) y distribuidos en más de siete mil localidades.

La dispersión poblacional es enorme; casi el 60% de la población se encuentra asentada en localidades de menos de mil habitantes (Figura 4 en DVD; Cuadro 3). Como resulta evidente, esta dispersión poblacional hace sumamente difícil la provisión de servicios básicos de educación y salud y de infraestructura tanto en México como en Guatemala.

Las mayores concentraciones poblacionales, en la sección mexicana y en la guatemalteca están ubicadas en la cuenca alta, por lo que las descargas urbanas e industriales en estas zonas tienen efecto a través de los ríos sobre el resto de la cuenca.

Los diversos diagnósticos socio-económicos que se han realizado en la cuenca del Usumacinta (Cabrera y Cuc, 2002; Cabrera, 2006) mencionan que la población que habita dentro de la cuenca se encuentra dentro de los

niveles de marginación más elevados de México y Guatemala. En México, la población de la cuenca alta corresponde a localidades de los Altos de Chiapas y de las Cañadas de la Selva Lacandona, escenario del conflicto social surgido en 1994 con la irrupción del Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN). Los habitantes de origen indígena son predominantes en toda la cuenca, e incluyen miembros de los grupos tojolabal, tzeltal, chol y maya lacandón en México, y de los grupos aguacateca, quiché, sacapultekas, achíes, qeqchíes, ixiles y mames para Guatemala.

Buena parte de la cuenca del Usumacinta fue poblada apenas en las últimas décadas por distintos procesos (Elías *et al.*, 1997); éstos incluyen: a) la colonización dirigida con habitantes provenientes de otras regiones —por acciones de gobierno— para ocupar zonas fronterizas y garantizar así la soberanía, b) por refugio ante conflictos militares (Guatemala) y c) por migraciones que aún continúan a partir de zonas de expulsión, principalmente de los Altos de Chiapas y de Guatemala, hacia la cuenca media. En términos poblacionales, tanto la porción mexicana como la guatemalteca de la cuenca alta han crecido rápidamente y tienen la mayor densidad poblacional de

Cuadro 2. Distribución de la población asentada en la cuenca del río Usumacinta por subcuenca.³

	Nº de Localidades	Nº de habitantes	% del total
Bajo Usumacinta	1,185	201,548	11.35
Usumacinta Medio	273	62,744	3.53
Río San Pedro	557	103,918	5.85
Río La Pasión	782	189,743	10.68
Río Salinas	1,724	604,610	34.04
Alto Usumacinta	2,514	613,669	34.55
TOTAL	7,035	1,776,232	100.00

toda la cuenca. En México, el ejemplo más claro de la colonización de la selva lo tenemos en Marqués de Comillas, que fue prácticamente colonizado en tan solo 30 años. En Guatemala, el Departamento de Petén, que cubre una parte importante de la cuenca del Usumacinta, ha sido el receptor de una gran cantidad de refugiados y migrantes en busca de tierras. Entre 1973 y 1994, el Departamento de Petén experimentó la tasa de crecimiento total más alta de Guatemala (251%), seguido de Alta Verapaz (Elías *et al.*, 1997). Estos procesos demográficos constituyen, sin duda, la fuerza de transformación más importante en la porción guatemalteca de la cuenca.

BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN

La gran cuenca del río Usumacinta abarca a una de las regiones de mayor biodiversidad de Mesoamérica, y es parte importante de la selva maya, el segundo macizo de selvas tropicales más extenso en superficie después de la Amazonía. La cuenca abarca cinco eco-regiones: 1) Selvas húmedas de Petén a Veracruz, 2) Bosques de pino encino de Centroamérica, 3) Pantanos de Centla, 4) Bosques montanos de Chiapas y 5) Bosques montanos de Centroamérica (Figura 5 en DVD adjunto).

En términos generales, los principales tipos de vegetación que encontramos al interior de

Cuadro 3. Distribución de los habitantes en la cuenca del río Usumacinta por tamaño de localidad.

Tamaño de Localidad	Nº de Localidades	Población	% del total
Menos de 100	3,718	99,081	5.58
100-1,000	3,064	957,817	53.92
1,000-5,000	226	373,370	21.02
5,000-10,000	17	109,624	6.17
10,000-50,000	9	166,029	9.35
Más de 50,000	1	70,311	3.96

la cuenca del Usumacinta, en su parte alta están los bosques de pino y encino, y los bosques mesófilos de montaña en las mayores altitudes; en su parte media, predominan selvas tropicales de diversa composición y estructura, y finalmente en su parte baja pantanos y humedales. A todo lo largo y ancho de la cuenca se presentan una gran variedad de ecosistemas acuáticos (ríos y lagunas) y bosques riparios (Figura 6 en DVD). Los tipos de selvas que se presentan en esta cuenca son diversos, predominando las selvas altas perennifolias y las selvas medianas subcaducifolias.

La cuenca del Usumacinta incluye a una de las regiones naturales del planeta con mayor riqueza biológica y biodiversidad. En esta cuenca aún tienen su hábitat numerosas especies amenazadas y en peligro de extinción incluyendo jaguar y ocelote, mono aullador, mono araña, tapir, pecarí de labios blancos, cocodrilos, diversas especies de aves rapaces y un número elevado de especies endémicas de diversos grupos de plantas, vertebrados e invertebrados (Primack *et al.*, 1998). La parte media de la cuenca del Usumacinta provee el último hábitat remanente para un ave que en el pasado se distribuía hacia el norte por las vertientes costeras de México: la guacamaya roja (*Ara macao cyanoptera*); hoy en día, está en grave peligro de extinción, se encuentra únicamente en algunas partes de la Selva

Lacandona y del Petén de Guatemala, y pese a que se distribuye dentro de áreas protegidas, diversos factores, incluyendo la extracción ilegal, la están conduciendo a la extinción (Carreón y Iñigo, 1998; Radachowsky, 2002; García Fera, 2009; Figura 7 en DVD). Los humedales del delta del Usumacinta, en su desembocadura al Golfo de México, son hábitat de la mayor importancia para numerosas poblaciones de distintas aves acuáticas residentes y migratorias (Ogden *et al.*, 1988).

La enorme biodiversidad de la cuenca del Usumacinta, enclavada dentro del *hot spot* de Mesoamérica, aún continúa siendo descubierta mediante estudios e inventarios biológicos. Durante las últimas décadas han sido registradas nuevas especies endémicas o que no estaban reportadas en el pasado para esta región. Por ejemplo, en 1985 se descubrió la planta *Lacandonia schismatica*, una verdadera rareza botánica para cuya clasificación fue necesario establecer una nueva familia en la taxonomía vegetal. También en la Selva Lacandona se lograron los primeros registros de especies no conocidas para México como algunos murciélagos, el marsupial *Metachirups nudicaudatus* (Medellín *et al.*, 1992) y el armadillo de cola desnuda *Cabassous centralis* (Cuarón *et al.*, 1989) entre otros. Un descubrimiento sorprendente realizado tan sólo en 2002, es el de una nueva familia y especie de bagre (Lacantuniidae: *Lacantunia enigmatica*) en las aguas del río Lacantún (Rodiles *et al.*, 2005; Lundberg *et al.*, 2007). En Guatemala también ha habido descubrimientos recientes de nuevas especies (Betancur y Willink, 2007).

Es evidente que la salud ambiental de los pantanos de Centla en Tabasco dependen en gran medida de los procesos ecológicos esenciales de la cuenca alta ubicada en Guatemala y en la Selva Lacandona de Chiapas (INIREB, 1988). Muy probablemente, la ecología de estos pantanos, que son de gran importancia para las poblaciones de aves migratorias que ahí se refugian y también para las pesquerías

del Golfo de México, dependen en gran medida de los nutrientes aportados por los ecosistemas de la cuenca alta y media que son transportados a través de la red hidrológica. Esto implica que los impactos ambientales que afecten la cuenca alta del Usumacinta se reflejarán en la cuenca baja; de ahí la urgente necesidad de efectuar una planificación del desarrollo coordinada y responsable. Los nuevos esfuerzos de conservación deben comenzar a vincular la integridad ecológica de los ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos que están concatenados.

Cerca de la desembocadura del Usumacinta al mar, en el Golfo de México, algunas especies propiamente marinas se introducen en sus aguas. Este es el caso de los tiburones chatos *Cudzarhinus feucas* (Sosa *et al.*, 1998), los cuales pudieron haber sido la inspiración para los Mayas del Usumacinta en nombrar a la reina Xook (Tiburón).

En la cuenca del Usumacinta se han decretado diversas áreas protegidas con el fin de preservar la gran selva maya. En México están las reservas de la biósfera Montes Azules y Lacantún, los monumentos naturales de Bonampak y Yaxchilán, los refugios de flora y fauna silvestres Humedales de Catazajá, Nahá, Metzabok y Chan Kín, y la reserva comunal La Cojolita. En Guatemala, la cuenca abarca numerosas áreas, incluyendo la mayor parte de la reserva de la biósfera Maya (RBM) —que contiene los parques nacionales Sierra del Lacandón y Laguna del Tigre—, así como las reservas ecológicas Pucté, Dos Pilas y San Román, entre otras (Figura 8 en DVD adjunto). Apenas en 2008, México declaró como área natural protegida al cañón del río Usumacinta (DOF, 2008).

En su conjunto, las diversas áreas protegidas en la cuenca cubren una superficie total de 2,357,008 ha lo cual representa el 32.15% de toda la cuenca. Teniendo el 58.2% del total de la cuenca del Usumacinta, Guatemala ha establecido como área protegida más del doble de

la superficie que ha decretado México (Cuadro 4).

Aunque las superficies de conservación abarcadas por las áreas protegidas establecidas por México y Guatemala son sin duda muy importantes, aún son insuficientes para dar una protección efectiva a la biodiversidad. Los análisis de vacíos y omisiones de conservación realizados por los dos países dentro del Programa de Trabajo en áreas protegidas del Convenio de Diversidad Biológica, revelan que aún hay sitios de importancia tanto terrestres como acuáticos que requieren esfuerzos de esta naturaleza (Figuras 9 y 10 en DVD; CONABIO *et al.*, 2007; Jolon, 2007; CONANP, 2009; CONABIO-CONANP, *en preparación*).

ASPECTOS ECONÓMICOS

La gran mayoría de las superficies dedicadas a la producción están dominadas por sistemas productivos no sustentables. En toda la cuenca, tanto en México como en Guatemala, domina una agricultura de subsistencia de roza-tumba y quema, que aún utiliza importantes cantidades de diversos pesticidas y agroquímicos. En distintas zonas de la selva Lacandona, el noroeste del Petén y en las zonas bajas de Tabasco, es la ganadería extensiva la que domina los paisajes productivos. Las áreas dedicadas a una agricultura con fines comerciales tienen cultivos de maíz, calabaza, chile y frijol. Todos estos sistemas agrícolas y pecuarios siguen siendo de bajo rendimiento y alto impacto sobre el ambiente.

La enorme riqueza arqueológica, cultural y paisajística en distintas zonas de la cuenca ha permitido el desarrollo de actividades turísticas cuyo potencial está sin duda entre los mayores a nivel mundial; sin embargo, este podrá ser aprovechado con un mayor beneficio si se implementa un plan binacional enfocado a lograr un desarrollo turístico responsable ambiental y socialmente, que utilice el amplio espectro de ofertas turísticas que

posee esta privilegiada región. Pese al enorme potencial turístico que el propio río Usumacinta tiene, particularmente como destino de turismo eco-arqueológico, éste no ha sido aprovechado debido a la falta de servicios de calidad, así como también a la inseguridad que existe para los visitantes a la región (Shaw, 2000; Golden y Scherer, 2006).

Al igual que el agua, los hidrocarburos también son recursos naturales compartidos entre los dos países dentro de la cuenca del río Usumacinta. Hace más de 30 años que se inició la explotación de los yacimientos de Tabasco y Campeche. Desde hace 25 años, México ha realizado actividades de exploración que se han ido trasladando hacia la zona Lacandona y Marqués de Comillas. Por su parte, Guatemala ha comenzado a concesionar algunos yacimientos cercanos a la zona fronteriza (río Salinas), e incluso ha construido un oleoducto para las zonas que ya efectúan extracción. El interés por el petróleo en la porción guatemalteca se ha traducido en un complejo mapa de licitaciones para exploración y explotación en la zona (Figura 11 en DVD), y estas actividades ya han tenido un grave impacto, sobre todo en el parque nacional Laguna del Tigre. Si bien el petróleo representa una importante actividad económica, a nivel local las conocidas secuelas de la actividad petrolera convencional sobre el medio ambiente representan un importante riesgo para la cuenca; por ello, las actividades de aprovechamiento de hidrocarburos deberían realizarse con los más altos estándares ambientales, subsidiando la protección y restauración ecológica de amplias áreas a manera de pagos por compensación y aplicando un estrecho control y monitoreo ambiental.

Toda la región del Usumacinta tiene un notable potencial para el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales. La extracción comercial de madera de la selva Lacandona data desde el siglo XIX y continúa hasta la fecha (De Vos, 1988). Los recursos

forestales que aún se mantienen, tanto en la sección mexicana como en la guatemalteca, son sin lugar a dudas muy importantes, pero desafortunadamente siguen siendo aprovechados bajo modelos de explotación no sustentables o bien de forma ilegal. En México se han realizado destacados intentos para desarrollar una forestería sustentable (por ejemplo, el Plan Piloto Forestal de Marqués de Comillas) pero sin consolidar resultados; en el caso de Guatemala, las concesiones forestales en la Zona de Uso Múltiple de la Reserva de la Biosfera Maya han ido produciendo efectos más prometedores, y en términos generales se acepta que estas concesiones han funcionado realmente para proteger y aprovechar las selvas en forma racional.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

La cuenca del Usumacinta es igualmente relevante por los servicios ecológicos o ambientales de importancia económica directa. Entre otros, cabe mencionar los volúmenes de carbono capturado en las masas forestales, la captación y aportación de agua y nutrientes a las tierras del norte de Chiapas y Tabasco (cuenca baja), así como a las zonas estuarinas de importancia para las pesquerías en la costa del Golfo de México. Algunas de las oportunidades emergentes para vincular la conservación de los bosques y selvas en la cuenca del Usumacinta con el desarrollo económico, ante el contexto del cambio climático, están en los mecanismos de retribución por el gran potencial que poseen para la captura de carbono y por el almacenaje actual de volúmenes importantes de carbono por hectárea (por ejemplo, mecanismos REDD, REDD+, etcétera.; Cairns *et al.*, 2000; De Jong *et al.*, 2005a; Rodríguez y Pratt, 1998; Montoya *et al.*, 2000). Así, ya se reconoce que las selvas y bosques de la cuenca del Usumacinta son parte de los “sumideros” de carbono de mayor relevancia en Mesoamérica.



FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

TRANSFORMACIÓN AMBIENTAL

Pese a los importantes esfuerzos para conservar los bosques y selvas dentro de la cuenca del Usumacinta, la deforestación y la degradación de los ecosistemas en esta región continúan avanzando, sin detectarse un cambio real en el nivel de vida de sus habitantes. Más de un 36% de la cuenca ya ha sido transformada, afectando a más de 2,687,361 ha (Cuadro 5). En el complejo proceso de deforestación que ocurre en esta cuenca, se observa una estrecha relación entre la apertura de caminos, la colonización y el avance de los desmontes (Figura 12 en DVD). Existen diversos estudios y evaluaciones realizados para determinar los costos ambientales, sociales y económicos del desarrollo de vías de comunicación que han facilitado la destrucción de los ecosistemas en la cuenca; dichos estudios evalúan también una serie de nuevas vías de comunicación propuestas para ser construidas y que podrían incrementar la afectación a las áreas protegidas y a los ecosistemas que aún se conservan fuera de éstas (Conde *et al.*, 2007; Ramos *et al.*, 2007).

Por otra parte, las actividades de explotación petrolera, sobre todo en el Petén, han conducido a la deforestación y colonización de distintas zonas, particularmente al interior del parque nacional Laguna del Tigre. En una imagen LANDSAT del año 2000, se observa claramente la deforestación ocurrida en esta

zona, así como en las partes altas de la cuenca en ambos países y también en la parte baja en Tabasco, donde las actividades agropecuarias arrasaron prácticamente con las selvas (Figura 13 en DVD). Algunos años las tasas de deforestación han superado las 50,000 ha anuales; no obstante, muchas de las áreas protegidas establecidas han logrado frenar estos procesos en su interior, aunque continúan ocurriendo invasiones y desmontes en ellas (Figura 14 en DVD), tal como ha sucedido en la reserva de la biosfera Montes Azules en México y en el parque nacional Sierra del Lacandón en Guatemala (De Jong *et al.*, 2005b; Ramos y Bernales, 2001). Distintos sectores de la cuenca del Usumacinta pueden ser afectados por colonizaciones surgidas a partir de la construcción de nuevas vías de comunicación (que se pretenden realizar para lograr una mayor conectividad entre los centros turísticos regionales más importantes, por ejemplo Tikal-Calakmul), (Conde *et al.*, 2007).

Desde 1998, numerosos incendios forestales han ocurrido en las selvas tropicales de la cuenca media del Usumacinta, que son ecosistemas no adaptados al fuego. Éstos han afectado importantes superficies de áreas protegidas como la reserva de la biosfera Montes Azules en México, y los parques nacionales Laguna del Tigre y Sierra del Lacandón y la Reserva de la Biosfera Maya en Guatemala (Figura 15 en DVD). En algunas zonas de la cuenca, los eventos meteorológicos extremos (por ejemplo

huracanes o ciclones), provocan la acumulación de mucho material combustible, que aunado a condiciones de sequía y de altas temperaturas medias mensuales constituyen un riesgo elevado de incendios catastróficos.

Aunque no se tiene un inventario sistemático de las especies exóticas invasoras que se han introducido a la cuenca del río Usumacinta, se han registrado ya varias que han causado estragos en distintas zonas a la integridad ecológica. Por ejemplo, la introducción de tilapias en la zona baja del Usumacinta derivó en una fuerte afectación del robalo *Centropomus undecimalis*, una especie anádroma que penetra al Usumacinta (Rodiles, comunicación personal). Asimismo, y de manera más reciente, peces diablo (*Pterygoplichthys pardalis*) de la familia Loricariidae han causado serios daños a los ecosistemas acuáticos de la parte baja de la cuenca. Conforme vayan invadiendo la cuenca media podrían poner en grave situación tanto al bagre endémico recientemente descubierto como a muchas otras especies (Wakida *et al.*, 2007). La carpa herbívora de origen asiático *Ctenopharyngodon idella* es otra especie que continúa afectando la integridad ecológica de los ríos en la selva Lacandona (Morales y Rodiles, 2000). En la zona de Pantanos de Centla, el caracol exótico *Thiara (Melanoides) tuberculata* ya se está estableciendo (Cruz *et al.*, 2003), como en tantos otros lugares de México.

HIDROLOGÍA Y POTENCIAL ENERGÉTICO

El río Usumacinta presenta el caudal más importante de toda Mesoamérica, y excepto por una represa construida por Guatemala en el río Chixoy —que tuvo grandes costos sociales y ambientales (Avila, 2004)— su caudal se mantiene aún sin alteraciones por infraestructura humana. El caudal del río ha sido estimado en alrededor de 1,700 m³ por segundo, con lo que se podría generar hasta 1,850 MW de energía eléctrica (Benassini, 1972). Por ello, desde la década de los años setenta, la cuenca del Usumacinta ha sido evaluada en su porción mexicana por su potencial hidroeléctrico, tanto en sectores de la cuenca media como sobre el propio río Usumacinta, habiéndose considerado al menos 19 puntos de la sección mexicana para construir diques (Figura 16 en DVD), (Toledo, 1982). Igualmente, se han realizado numerosas evaluaciones de los costos ambientales, sociales y económicos que tendría la instalación de represas en el río Usumacinta (Delgado, 2005; Amezcua *et al.*, 2007), pero hasta la fecha hay una gran resistencia social contra el desarrollo de estas represas ya que afectarían además tierras de un número muy importante de pobladores, principalmente indígenas (Castro Soto, 2002, 2007; Trópico Verde, 2004; Rodríguez García, 2007).

Una estimación del impacto causado por la instalación de una represa en el sitio de Boca del Cerro, en Tabasco, al terminar el llamado

Cuadro 4. Distribución de las superficies protegidas y no protegidas en la cuenca del río Usumacinta.

Total de la cuenca del Usumacinta 7,329,402 ha (100%)	Sección México 3,065,120 ha (41.8%)	Áreas Protegidas: 744,158 ha (24.3% del Total Sección México)
		No protegido: 2,320,952 ha (75.7% del Total Sección México)
	Sección Guatemala 4,264,113 ha (58.2%)	Áreas Protegidas: 1,612,671 ha (37.8% del Total Sección Guatemala)
		No protegido: 2,651,442 ha (62.2% del Total Sección Guatemala)

Cuadro 5. Transformación de la vegetación natural en la cuenca del río Usumacinta.

Total de la cuenca del Usumacinta Cobertura Natural: 4,543,583 ha (62%) Superficie transformada: 2,687,361 ha (36.6%) Otros: 98,458 ha (1.34%)	Sección México	Cobertura Natural: 1,871,873 ha (61.1%) Superficie transformada: 1,131,289 ha (36.9%) Otros: 61,958 ha (2.0%)
	Sección Guatemala	Cobertura Natural: 2,671,541 ha (62.6%) Superficie transformada: 1,556,072 ha (36.5%) Otros: 36,500 ha (0.9%)

cañón del Usumacinta, reveló que el embalse cubriría bajo las aguas todos los sitios arqueológicos mayas más importantes del Usumacinta medio, incluyendo Piedras Negras y Macabilero, en el lado de Guatemala y Yaxchilán en la parte mexicana (Berendes, 2003). La pérdida irreversible de sitios arqueológicos de valor excepcional causó que el proyecto de Boca del Cerro haya sido frenado en diversas ocasiones (Wilkerson, 1985, 1986). Además, la construcción de este proyecto no mantenía una distribución equitativa de los costos y beneficios entre México y Guatemala, ya que este último país aportaría la mayor parte de las 195,000 ha que se inundarían, mientras que México se beneficiaría económicamente con la generación de electricidad (Benassini, 1972).

El establecimiento de represas hidroeléctricas sobre el río Usumacinta además afectaría la conectividad de los sistemas hidrológicos de la cuenca, afectando tanto el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, como a una serie de especies de gran importancia, varias de ellas además amenazadas o en peligro de extinción, y que requieren de esta conectividad para mantener la salud de sus poblaciones. Entre otras se puede mencionar al manatí *Trichechus manatus*, el cocodrilo *Crocodylus acutus* y *C. moreletii*, y la tortuga blanca *Dermatemys mawii* (Ippi y Flores, 2001; Rodas *et al.*, 2008). Diversos estudios han demostrado que estos costos no justifican continuar promoviendo la construcción de estas represas y plantean el gran potencial que tiene esta cuenca bajo modelos de desarrollo que se orienten a la sustentabilidad.

RETOS PARA UN DESARROLLO SUSTENTABLE

La cuenca del río Usumacinta, compartida por México y Guatemala, constituye una de las regiones de Mesoamérica prioritarias para lograr un desarrollo genuinamente sustentable. A la par que alberga una biodiversidad

privilegiada y de enorme importancia por los servicios ambientales que presta, es también una de las cuencas con mayor potencial económico debido a sus cuantiosos recursos energéticos, forestales y turísticos. Estas aptitudes han sido explotadas en diferentes medidas, pero generalmente bajo modelos que no garantizan la sustentabilidad ambiental ni social.

La abundante información disponible sobre los aspectos físicos, biológicos, hidrológicos, y socio-económicos sobre la cuenca del Usumacinta fundamenta sólidamente la necesidad de diseñar e implementar un plan compartido entre México y Guatemala que permita lograr un desarrollo sustentable que favorezca la conservación y el uso inteligente de sus recursos naturales (March y Fernández, 1998).

Un plan de desarrollo sustentable a nivel binacional podría enmarcarse dentro de los convenios y acuerdos que ya se han establecido para fomentar la cooperación entre México y Guatemala, como los de la Comisión Mexicana para la Cooperación con Centroamérica (1997), los del encuentro Tuxtla II de 1996, y los de las reuniones del Diálogo Interamericano para el Manejo del Agua (Declaración de Miami, 1993; Declaración de Buenos Aires 1996).

Se han realizado además numerosos trabajos enfocados a la planeación de un desarrollo en la cuenca del Usumacinta y que constituyen las bases para avanzar hacia un futuro más sustentable que promueva la integridad ecológica de la región (Priego *et al.*, 1987; Hamann y Ankersen, 1996; Guillen-Trujillo, 1995; Carabias *et al.*, 2008). Estas condiciones serán fundamentales para enfrentar escenarios inducidos por el cambio climático, que si bien son todavía inciertos serán claramente adversos. De la integridad ecológica, la extensión de las superficies conservadas y de su interconectividad dependerá en buena medida la resiliencia de

los ecosistemas para evolucionar en otros que sean igualmente funcionales.

Finalmente, cabe mencionar que son diversos los esfuerzos de monitoreo ambiental y de distintos indicadores biológicos y ecológicos que han sido planteados; algunos de ellos han sido finalmente implementados (Carr y De Stoll, 1999; CONANP, 1999; Sader *et al.*, 2001; Whitacre, 1997). Por esta razón, se recomienda un esfuerzo que en el corto plazo integre los resultados de estos esfuerzos en un sistema de monitoreo capaz de evaluar la salud ambiental y la integridad ecológica de la cuenca. Esto

será fundamental para conducir actividades de manejo adaptativo conforme vayan sucediendo las condiciones impuestas sobre la cuenca por el cambio climático global.

¹ Las opiniones aquí expresadas son responsabilidad única de los autores y de ninguna manera representa la postura de TNC.

² Si bien la totalidad de la cuenca fronteriza abarca los ríos Grijalva y Usumacinta, en este capítulo sólo se hará referencia al territorio correspondiente al Usumacinta.

³ Para localización de subcuencas, ver Figura 3 en DVD.

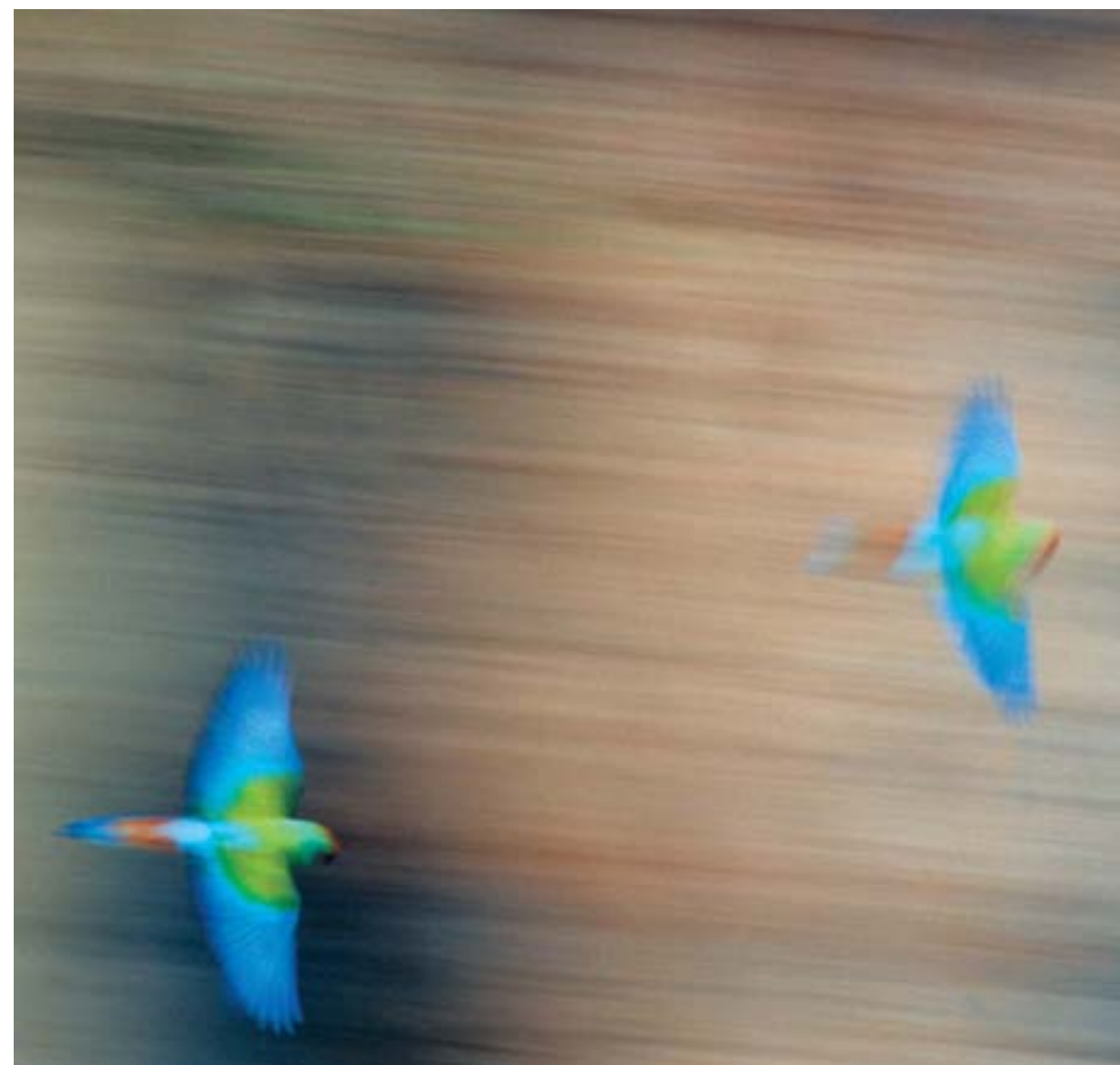


FOTO: CLAUDIO CONTRERAS KOOB

LA CUENCA DEL RÍO SUCHIATE: ENTRE INUNDACIONES Y MOVILIDAD DE LA FRONTERA MÉXICO-GUATEMALA

EDITH F. KAUFFER MICHEL

LA CUENCA DEL RÍO SUCHIATE constituye una de las seis cuencas transfronterizas existentes entre México y Guatemala y posee una superficie de 1,230 km², es decir que tiene un tamaño reducido en comparación con otras de mayor extensión en la región. Es una cuenca costera que drena hacia el Océano Pacífico cuyo 83% se ubica en Guatemala. Se trata de la única cuenca transfronteriza en la cual Guatemala se encuentra simultáneamente en la parte alta y baja. En la actualidad tiene 274,347 habitantes;¹ 228,520 viven en Guatemala, en 660 localidades, y 45,827 en México, en 89 centros de población. Sin embargo, en este territorio la densidad de población mexicana —237 habitantes por km²— es mayor a la guatemalteca —220 habitantes por km². Se trata de la cuenca transfronteriza que registra la mayor densidad de población en toda la frontera compartida por ambos países.

Administrativamente, la cuenca del río Suchiate se ubica en el estado mexicano de Chiapas y en el departamento guatemalteco de San Marcos. Su territorio incluye parte de los municipios de Suchiate, Frontera Hidalgo,

Metapa de Domínguez, Tuxtla Chico, Cacahoatán y Unión Juárez en México y 16 municipios de Guatemala: Ocos, Ayutla, Catarina, El Rodeo, El Tumbador, Esquipulas Palo Gordo, Ixchiguán, La Reforma, Malacatán, Nuevo Progreso, San Marcos, San Pablo, San Rafael Pie de la Cuesta, Sibinal, Tacaná y Tajumulco (Mapa 1).

Hidrográficamente, la cuenca del río Suchiate posee dos subcuencas de aporte: la subcuenca del río Suchiate y la del río Cabuz, ambas ubicadas en Guatemala (Jiménez *et al.*, 2006). Esta cuenca tiene una fuerte inclinación ya que la altura sobre el nivel del mar oscila entre cero y 4,100 m en menos de 100 kilómetros, culminando en el volcán Tacaná (Mapa 1).² Setenta y siete de los noventa y dos kilómetros del río Suchiate forman la frontera fluvial entre México y Guatemala establecida por el tratado de límites de 1882.

PROBLEMÁTICAS DE LA CUENCA DEL RÍO SUCHIATE: DE LAS INUNDACIONES A LA FRONTERA MÓVIL

La cuenca del río Suchiate se caracteriza por un gran deterioro de sus ecosistemas. Hoy en

día sólo 23.73% de su territorio tiene cobertura de bosques y selvas. No obstante, la parte mexicana se encuentra más conservada (65.8%) que la guatemalteca (19.91%). En 1984, el 44% de la superficie guatemalteca de la cuenca tenía cobertura boscosa (GUATEAGUA, 2007, en www.infoiarna.org.gt/guateagua/index.htm), dato que atestigua el reciente proceso de deterioro. A pesar de la mayor densidad de población del lado mexicano, su concentración favorece un menor deterioro de la cuenca en materia de cobertura vegetal. La parte alta de la cuenca se caracteriza por una predominancia de la agricultura de subsistencia, con alta dispersión de la población en pequeñas localidades, y registra un mayor deterioro de la cobertura vegetal y de los suelos en las laderas más empinadas (Mapa 2 en DVD). La diversificación de actividades económicas en la parte baja de la cuenca permite una menor dependencia de las actividades agrícolas.

Esta parte baja de la cuenca del río Suchiate conoce una larga historia de inundaciones que tiende a empeorar en la actualidad debido a distintos fenómenos: sus condiciones topográficas, las formas de apropiación de su territorio, la deforestación y el crecimiento demográ-

fico de su población desde principios del siglo xx. Esta zona de la cuenca se ha beneficiado de condiciones favorables para el desarrollo de actividades primarias y terciarias. En primer lugar, la fertilidad de los suelos, derivada de su ubicación en áreas de inundación, ha facilitado la extensión de la superficie destinada a la producción agrícola. Desde los años cincuenta del siglo xx, el gobierno mexicano ha construido el distrito de riego de Suchiate, que hoy en día produce principalmente plátano para el mercado internacional. En la ribera guatemalteca, un latifundista posee la mayor parte de las tierras que colindan con el río Suchiate. A estas condiciones favorables para la agricultura, se sumó el establecimiento de la frontera internacional —a finales del siglo xix— que permitió la instalación de centros urbanos donde hoy se desarrolla una intensa actividad comercial y migratoria que alimenta, a través de flujos legales y de contrabando, una dinámica economía transfronteriza. Parte de estos intercambios informales se realizan mediante el cruce del río a través de embarcaciones de confección local, llamadas balsas o caminando, cuando el nivel del agua lo permite.

Las dinámicas poblacionales y la explotación de los recursos naturales de las partes altas y bajas de la cuenca del río Suchiate favorecen el surgimiento de inundaciones durante la estación de lluvias, en particular cuando ocurren eventos hidrometeorológicos extremos: en los años 1998 y 2005 el huracán Mitch y un evento asociado al huracán Stan provocaron respectivamente lluvias intensas y concentradas que se tradujeron en deslaves mortales en la parte alta de la cuenca y en inundaciones de gran magnitud, produciendo enormes pérdidas materiales en las zonas urbanas y rurales de la parte baja.

La problemática de las inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Suchiate tiene impactos en la movilidad de la frontera internacional. En efecto, dicha frontera fluvial definida en el tratado de 1882 sigue como criterio de delimitación el *thalweg*, es decir el canal más profundo del río. Esta demarcación de las fronteras fluviales era utilizada durante el siglo XIX para los ríos europeos navegables y tenía como finalidad permitir que cada estado ribereño pudiera navegar en la parte del río que le correspondía. Sin embargo, para un río como el Suchiate, donde la “navegación” solamente se realiza de una orilla a otra y no en su longitud, y se caracteriza por una importante modificación de su gasto a lo largo del año, dicha delimitación se ha revelado inadecuada. En efecto, el *thalweg* tiende a moverse y por ende, la línea divisoria internacional. Antes de las inundaciones del 2005, el gasto del río Suchiate en su parte baja oscilaba entre un mínimo de 300 m³/s por segundo y un máximo de 3,000 m³/s a partir del cual el río registraba inundaciones. Sin embargo, desde la inundación del 2005 y debido a las condiciones de azolve del río, éste se desborda con solo un gasto de 300 m³/s (Jiménez *et al.*, 2006). Cuando el volumen de agua del río rebasa la capacidad de su cauce, éste se extiende en sus márgenes y por lo tanto el *thalweg* cambia de lugar. Asimismo, las nume-

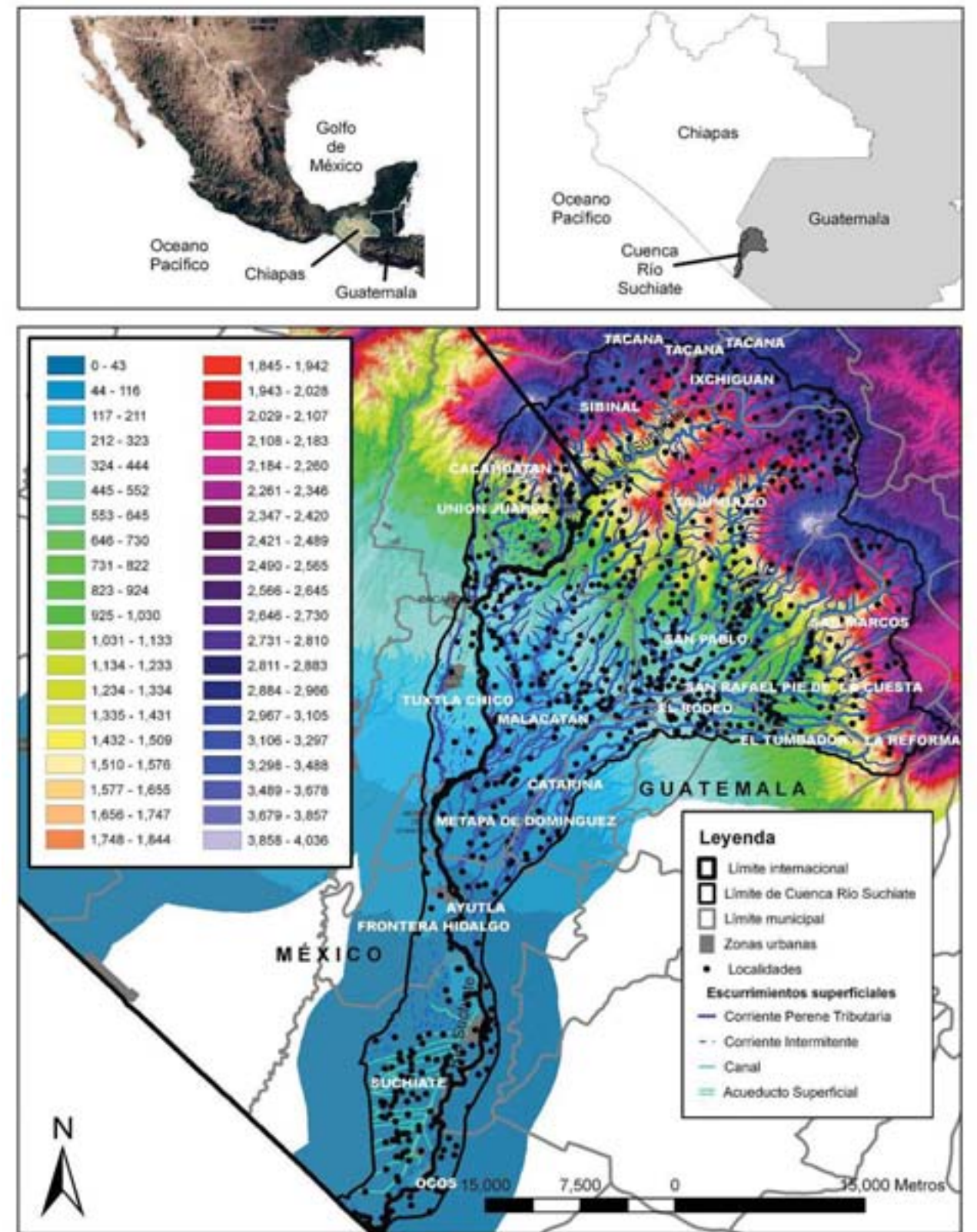
rosas divagaciones de su curso tienden a modificarse cuando ocurren inundaciones y afectan la ubicación del *thalweg*. Como consecuencia de la inundación del 2005, algunas infraestructuras y tierras anteriormente ubicadas en la ribera mexicana del río se encuentran del lado guatemalteco y viceversa. Ello se debe a que el río modificó su trayecto en varias centenas de metros en algunos tramos, y por lo tanto el *thalweg* cambió de lugar, lo cual repercutió en la ubicación de la frontera fluvial entre ambos países.

LOS PROCESOS DE GESTIÓN EN LA CUENCA DEL SUCHIATE: LA INGENIERÍA FRENTE AL INDOMABLE RÍO

Las históricas inundaciones en el río Suchiate han aumentado su frecuencia y su magnitud desde 1995 debido a las transformaciones de las dinámicas de poblamiento, la creciente deforestación de la parte alta de la cuenca y a las características topográficas y climatológicas de la zona. En respuesta a la movilidad del río, desde mediados del siglo XX y durante más de seis décadas, los estados mexicano y guatemalteco han intentado estabilizar el río y controlar su movilidad mediante la construcción de obras hidráulicas.

Desde 1942 se ha realizado intervenciones hidráulicas en el Suchiate centradas exclusivamente en la finalidad de regresar el río a su cauce y de proteger sus márgenes en contra de las inundaciones. En 1964, el río Suchiate contaba con las siguientes estructuras de protección y encauzamiento: un bordo de protección en Ciudad Hidalgo y parte del distrito de riego ubicado más abajo de la cuenca, y espigones del lado mexicano y solamente espolones en el margen guatemalteco —lenguas de rocas o de material ubicados perpendicularmente al río, que lo obligan a encauzarse (Roque, 1964).

En 1969, Maza y Spingall elaboran el modelo del río Suchiate y presentan el proyecto de



Mapa 1. Cuenca del río Suchiate: modelo de elevación digital, hidrografía y municipios (elaborado por Emmanuel Valencia Berrera y Edith Kauffer a partir del mapa de cuencas transfronterizas de Antonino García, 2010).



Pasando el río Suchiate, en el puente fronterizo de Talismán.



Obra de toma del distrito de riego mexicano en Guatemala.



Rancho Grande, destrucción y terrenos perdidos, antes en México hoy en Guatemala.

estabilización del río consistente en el establecimiento de líneas teóricas y espigones. Este estudio fue financiado por la recién creada Comisión Internacional de Límites y Aguas Las Líneas (CILA), en 1961, una comisión binacional separada en dos secciones, encabezadas por un funcionario de cada país. Jurídica-mente, la CILA es responsable de delimitar físicamente la frontera entre ambos países y las fronteras fluviales. Para realizar su trabajo, las divagaciones del río representaban un serio problema porque impedían fijar la línea de división internacional entre ambos países. Por ello, se financió el estudio de 1969 con la finalidad de “estabilizar” el río desde la confluencia entre el río Cabuz y Suchiate hasta la desembocadura en el mar, cuyas soluciones consistieron en espigones, bordos de protección y protección a las márgenes. Como resultado de este proyecto, se diseñaron las líneas teóricas, que determinan hasta qué punto cada país puede construir obras, evitando estrechar demasiado el cauce del río (CILA, 2006).

En 1999, posteriormente a las inundaciones ocurridas el año anterior como consecuencia del huracán *Mitch*, la Comisión Nacional del Agua solicitó nuevamente la *expertise* de la UNAM. La solución propuesta consistió nuevamente en rehabilitar los espigones, construir un dique y favorecer la reforestación del lado mexicano (CILA, 2006). La CILA (2006) y los habitantes de los ejidos reconocen que la reforestación no se llevó a cabo como estaba previsto.

Frente a las afectaciones mayores ocurridas en el año 2005, en 2006 la UNAM presentó el proyecto de “rectificación integral del río Suchiate” (Jiménez *et al.*, 2006). Se trató de “regresar el flujo al cauce principal” muy afectado por el desbordamiento y con cambios notables, mediante la construcción de espigones, el dragado de cauces pilotos³, la sedimentación de algunos sitios y la protección de márgenes (Jiménez *et al.*, 2006).

Como la inundación no solo afectó la parte más baja de la cuenca ubicada desde Ciudad Hidalgo hasta la desembocadura, como en fechas anteriores, el estudio recomendó ampliar las líneas teóricas de Zaragoza a Talismán en una distancia de 7.5 km y propuso su delimitación. En el 2006, ambos países acordaron la definición de estas líneas teóricas adicionales (CILA, 2006).

Como resultado de la inundación del 2005, los 147 espigones destruidos y azolvados, fueron rehabilitados o reconstruidos: es la única obra notable que se ha terminado dos años después de las inundaciones. La construcción de bordos de protección no ha podido completarse debido a la oposición de la población que solicitaba desazolvar el río.

Las soluciones concretas propuestas por el estudio más reciente son las siguientes (Jiménez *et al.*, 2006): el control de la erosión en cuencas de aporte (Guatemala); el control de sedimento en cuencas de aporte a través de la construcción de presas reguladoras pero no en el cauce principal, que tiene un caudal demasiado importante; la rehabilitación y construcción de espigones; el dragado y limpieza del cauce (utilizando la técnica de dragado de cauces piloto); la rehabilitación y protección de márgenes y la rehabilitación del bordo de Ciudad Hidalgo.

En esta última intervención “ingenieril”,⁴ se retoman nuevamente las tradicionales soluciones técnicas que llevan décadas de ensayos, pero se añade trabajo en la parte alta de la cuenca, lo cual atestigua una visión no limitada sólo a los aspectos hidráulicos. Además, se propone una alternativa diferente a la problemática de la movilidad del río Suchiate, consistente en la reubicación de la población y en el inicio de negociaciones con Guatemala (Jiménez *et al.*, 2006).

Ante la realidad histórica y contemporánea de las inundaciones de la parte baja del río Suchiate, las soluciones adoptadas por los estados mexicano y guatemalteco han consis-

tido en la construcción de obras destinadas a contener el flujo del río Suchiate y a proteger a la población con la finalidad de evitar la movilidad de un río internacional y, en consecuencia de su frontera común. Cada país ha trabajado en forma separada para proteger de la mejor manera posible su ribera y su territorio nacional, con la finalidad de salvaguardar su soberanía. Las décadas de ensayos fundamentados en la ingeniería no han permitido encontrar una respuesta satisfactoria y definitiva a este problema. Hoy, la renegociación de la frontera fluvial del río Suchiate a partir de criterios fijos de delimitación, y el trabajo de cooperación binacional en materia de cuencas transfronterizas —bajo la óptica de una gestión integrada de recursos hídricos— presentan mejores perspectivas que las viejas soluciones orientadas hacia el encauzamiento y la estabilización del indomable río.

¹ Los datos presentados proceden de un sistema de información geográfica derivado de la delimitación de las seis cuencas transfronterizas entre México, Guatemala y Belice, a partir de la información del Instituto Nacional de Información Geográfica y Estadística (INEGI) de México y del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) de Guatemala. La cartografía de las cuencas fue elaborada por el M. en C. Antonino García García y el técnico Emmanuel Valencia Barrera del Laboratorio de Análisis e Información Geográfica de El Colegio de La Frontera Sur, a partir de la unión de los modelos de elevación digital de ambos países a una escala 1: 50,000.

² Cabe subrayar que el punto más alto para México se ubica a 4,036 msnm y para Guatemala a 4,201 msnm. ³ Ello consiste en dragar partes limitadas y esperar que la naturaleza haga su trabajo, ampliando las partes ya desazolvadas. Es un experimento propuesto por los ingenieros de la UNAM.

⁴ Es decir, siguiendo a Boelens *et al.* (2004), una visión fundamentada en los aspectos técnicos e hidráulicos del agua sin perspectiva social, que considera que la ingeniería resolverá todos los problemas.

LA CUENCA DEL RÍO COATÁN: ENTRE INUNDACIONES Y ESCASEZ, UN ESCENARIO COMPLEJO PARA LA COOPERACIÓN MÉXICO-GUATEMALA

EDITH F. KAUFFER MICHEL

LA CUENCA DEL RÍO COATÁN es la más pequeña de las seis cuencas transfronterizas que México y Guatemala comparten en su frontera común. Alcanza una superficie de 733 km² y es una cuenca costera que desemboca en el océano Pacífico.

Guatemala se encuentra en la parte alta y México, que ocupa 63% del territorio de la cuenca, abajo. Su densidad de población total es de 140 habitantes por km² pero la diferencia entre la parte mexicana (103 habitantes por km²) y guatemalteca (206 habitantes por km²) es considerable.¹

A pesar de tener menos territorio que su vecino en la cuenca del río Coatán, Guatemala registra más habitantes (55,356) que México (47,734). Sin embargo, la población se ubica en un número mayor de localidades en México (237) que en Guatemala (132).

La cuenca del río Coatán es una de las más deterioradas de la frontera; subsisten bosques y selvas en solamente el 23.87% de su superficie. Esta situación es mucho más marcada en Guatemala, ya que únicamente 8.5% de su territorio en esta cuenca tiene todavía bosques o selvas. La parte mexicana de la cuenca registra un menor deterioro, con 32.68% de cobertu-

ra vegetal. Así, la parte alta del Coatán se caracteriza por una intensa deforestación, en un territorio donde predomina una agricultura de subsistencia. La población de esta parte de la cuenca es fuertemente marginada y la migración de mano de obra masculina hacia México y Estados Unidos responde a la falta de ingresos suficientes que aseguren su supervivencia.

Administrativamente, la cuenca del río Coatán se extiende en parte de los municipios de Mazatán, Tapachula, Cachoatán y Motozintla del estado de Chiapas, en México, y en los de Tacaná, Sibinal, Tectitán, San José Ojotenam e Ixchiguan en Guatemala, que pertenecen a los departamentos de San Marcos y Huehuetenango (Mapa 1 en DVD adjunto).

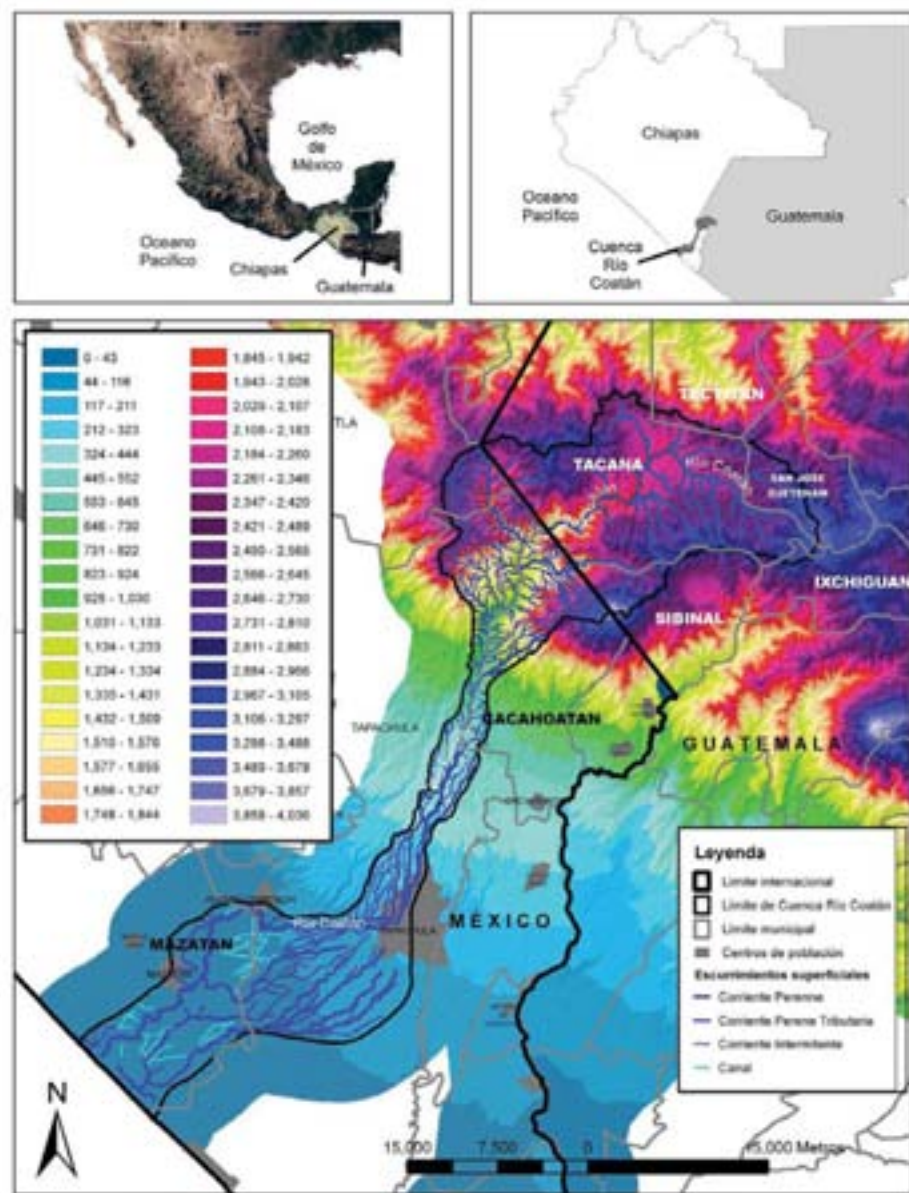
La cuenca del río Coatán posee una extensa red hidrográfica, principalmente en su parte alta, en Guatemala, donde existen 34 corrientes de diversos tamaños entre las que se destacan el río Las Majadas, la quebrada Toloj, el río Chochaljá y el río Isquichá por su importancia. Existen también 212 corrientes o porciones de escurrimientos que no tienen nombre. El río Coatán tiene una longitud de 23 km en territorio guatemalteco y de 80 km del lado mexicano, hasta la desembocadura (Mapa 1).

DE LA EXTREMA ABUNDANCIA A LA ESCASEZ DE AGUA

La cuenca del río Coatán tiene una fuerte inclinación ya que la altura sobre el nivel del mar oscila entre cero y 4,100 metros en menos de 100 kilómetros, culminando en el volcán Tacaná (Mapa 1).² Las condiciones de deterioro de la parte alta de la cuenca del río Coatán se suman a la existencia de un poblamiento de importancia regional en su parte mexicana, la ciudad de Tapachula, cuya mancha urbana se encuentra ubicada parcialmente en la parte baja de la cuenca del río Coatán. La otra parte de la ciudad corresponde a la cuenca del río Cahoacán. En las últimas décadas, el crecimiento de la zona urbana de Tapachula entre los ríos Coatán y Cahoacán, anteriormente ubicados fuera de la zona urbana, ha tenido como resultado que numerosos barrios y colonias se encuentran hoy en día en las riberas de ambos ríos. En consecuencia, la vulnerabilidad de la población de Tapachula es muy notable en la actualidad y las orillas de ambos ríos han sido escenario de violentas inundaciones, en los años 1998 y 2005, que afectaron la mayor parte de la ciudad y destruyeron colonias completas. Estos fenómenos dejaron inservibles numero-

sos servicios públicos, tales como la toma de agua para el abastecimiento doméstico de la ciudad, ubicada en el río Coatán, y la presa hidroeléctrica José Cecilio del Valle, que paró de funcionar durante tres meses.

La cuenca del Coatán presenta una curiosa paradoja: durante la temporada de estiaje, sus habitantes conocen situaciones de escasez de agua cuando el gasto del río disminuye considerablemente y pone en riesgo la disponibilidad de agua para el consumo doméstico de la zona urbana. Esta misma condición determina que en la presa hidroeléctrica antes mencionada, que se abastece de una derivación del agua del río Coatán, disminuya la cantidad de agua utilizada durante la temporada de estiaje. En la parte baja de la cuenca, en el municipio de Mazatán, se encuentra un distrito de temporal tecnificado, mismo que se abastece del río Coatán. En la parte media de la cuenca, que corresponde al municipio de Cachoatán, en México, existe una problemática de contaminación de las aguas del río derivada del uso agrícola, y en particular de las aguas utilizadas en la producción de café. A ésta se suman las aguas residuales de la zona urbana de Tapachula, que aún no cuenta con una planta de tratamiento en funciones.



Mapa 1. Cuenca del río Coatán: modelo de elevación digital, hidrografía y municipios (elaborado por Emmanuel Valencia Barrera y Edith Kauffer a partir del mapa de cuencas transfronterizas de Antonino García, 2010).

LOS PROCESOS DE GESTIÓN EN EL RÍO COATÁN: MUCHAS INSTITUCIONES Y POCOS AVANCES EN LAS PROBLEMÁTICAS SUSTANTIVAS

Además de un comité de playas limpias inaugurado el 31 de marzo de 2005, la cuenca del río Coatán alberga uno de los diez comités de cuenca existentes hoy en día en el estado de

Chiapas (CONAGUA, 2010). Dicho comité fue instalado el 31 de agosto de 2005 como órgano auxiliar del Consejo de Cuenca de la Costa de Chiapas, formado el 26 de enero de 2000. En más de cuatro años de existencia, el comité de cuenca se ha reunido en cinco ocasiones para sesiones ordinarias: en agosto de 2005, febrero de 2006, julio de 2008, y dos veces en agosto de 2009 (Comité de Cuenca, 2009). Ello significa que durante más de dos años —febrero de 2006 a julio de 2008— el comité ha sido inoperante. Esta situación queda claramente establecida en el acta de la reunión extraordinaria del Comité de Cuenca realizada el 16 de julio de 2008, destinada respectivamente a “consolidar” y “reactivar” dicho

comité (Comité de Cuenca, 2008). Esta desactivación corresponde con el año electoral (2007) y el cambio de administración municipal (enero de 2008), los cuales, sin duda, contribuyeron a paralizar al Comité de Cuenca como en otros casos estudiados en el estado de Chiapas (Kauffer, 2008).

Paralelamente a las acciones llevadas a cabo en el marco del Comité de Cuenca, numerosos

proyectos han sido desarrollados principalmente entre los años 2003 y 2005 en la cuenca del río Coatán, en su porción mexicana. Dependencias federales, estatales y organizaciones no gubernamentales han realizado diversas acciones. Sin embargo, diversos actores entrevistados coinciden en señalar que la falta de coordinación y la realización de acciones contradictorias han caracterizado estas intervenciones externas.

Entre las experiencias llevadas a cabo en la cuenca del río Coatán, pocas actividades la consideraron en su totalidad debido a que la mayoría de ellas se centraron exclusivamente en la parte mexicana de la misma. Una notable excepción fue el proyecto Tacaná, llevado a cabo por la Unión para la Conservación de la Naturaleza (UICN) entre septiembre de 2003 y septiembre de 2006, con la finalidad de realizar acciones de cooperación entre México y Guatemala en esta cuenca. En una presentación realizada en el 2006, la UICN afirmó que “lo malo [fueron] el *Stan* y sus complicaciones” y lo feo “no poder lograr el reconocimiento de proyecto binacional” (UICN, 2006). Efectivamente, la UICN encontró oposiciones de varias instancias gubernamentales mexicanas a su objetivo de gestión integrada de la cuenca transfronteriza abarcando la totalidad del territorio. Hoy en día, dicha organización sigue trabajando en la parte guatemalteca del Coatán y ha desarrollado una interesante experiencia de gestión en la cuenca vecina del río Cahaocán, que solamente se ubica en territorio mexicano, además de otros proyectos en cuencas transfronterizas de Centroamérica.

Cabe añadir también que el devastador impacto del fenómeno asociado al huracán *Stan*, en 2005, ha sido desfavorable para las acciones iniciadas en la cuenca en general durante los años anteriores a la inundación, y en particular, para el proyecto Tacaná.

La reciente reactivación del Comité de Cuenca del río Coatán y la inauguración de la oficina de su gerencia operativa en el año

2009 están acompañadas por una nueva visión en torno a la dimensión transfronteriza de dicha cuenca (Comité de Cuenca, 2009), además de un plan de gestión aprobado para la realización de acciones futuras. Así, a pesar de los altibajos que marcaron sus primeros cuatro años de existencia, el Comité de Cuenca del río Coatán parece hoy en día encaminado hacia un posible fortalecimiento, si el proceso electoral del año 2010 y el cambio de administración municipal en enero de 2011 no provocan nuevas perturbaciones en su nueva dinámica. Una de las iniciativas prometedoras es el intento de convertir las áreas naturales protegidas del volcán Tacaná, es decir la reserva de la biosfera mexicana y la zona de veda definitiva guatemalteca, en un área de manejo transfronterizo que sin duda contribuirá a detener el deterioro en la parte alta de la cuenca y a incidir favorablemente en una gestión transfronteriza de los recursos hídricos. Sin embargo, la amenaza de nuevas inundaciones, derivadas de las condiciones locales de deterioro y de las imprevisibles precipitaciones, constituye una realidad apremiante para la población de la parte baja de la cuenca y para los actuales procesos de gestión.

Los datos presentados proceden de un sistema de información geográfica derivado de la delimitación de las seis cuencas transfronterizas entre México, Guatemala y Belice, a partir de la información del Instituto Nacional de Información Geográfica y Estadística (INEGI) de México y del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) de Guatemala. La cartografía de las cuencas fue elaborada por el M. en C. Antonino García García y el técnico Emmanuel Valencia Barrera del Laboratorio de Análisis e Información Geográfica de El Colegio de La Frontera Sur, a partir de la unión de los modelos de elevación digital de ambos países a una escala 1:50,000.

² Cabe subrayar que el punto más alto para México se ubica a 4,036 msnm y para Guatemala a 4,201 msnm.

SITUACIÓN ACTUAL DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS CANDELARIA Y HONDO

JORGE A. BENÍTEZ

DESDE EL PUNTO DE VISTA ambiental, las cuencas de los ríos Candelaria y Hondo presentan grandes similitudes. Ambas se originan a una altitud cercana a los 300 metros en el norte del Petén guatemalteco, a partir de donde toman direcciones noroeste y noreste, respectivamente. La distancia que recorren desde el parteaguas a la desembocadura es de aproximadamente 190 km, mientras que sus áreas de drenaje son de 13,713 km² y 17,690 km², respectivamente.

La cuenca del río Candelaria es de carácter binacional, con 20% de su superficie en territorio guatemalteco, mientras que la del río Hondo es una cuenca tripartita, compartida por México (42.6%), Belice (29.1%) y Guatemala (28.2%). Aunque la mayor proporción de ambas cuencas se localiza en territorio mexicano (Figura 1), parte de las áreas de captación se localiza fuera de las fronteras nacionales, por lo que el manejo de ambas cuencas tanto en territorio guatemalteco como beliceño tiene un fuerte impacto en los procesos ambientales que ocurren río abajo.

Ambas cuencas presentan un patrón climático similar. La precipitación anual varía de 1,000 a 1,500 mm, con una temporada de lluvias bien definida que va de junio a octubre, donde ocurre cerca del 70% de la precipitación, y una temporada de secas de marzo a mayo. El periodo que separa estas épocas climáticas (noviembre-febrero) es afectado por invasiones de masas polares o “nortes”, los cuales pueden contribuir hasta con un 25% de la precipitación anual (CONAGUA, 2008). La temperatura media anual es de alrededor de 26°C, presentándose los valores más bajos de noviembre a enero (16°C) y los más altos de mayo a septiembre (38°C). Las temperaturas más elevadas coinciden con la época húmeda y dan lugar a elevadas tasas de evapotranspiración.

De junio a octubre, y con menor frecuencia en mayo y noviembre, ambas cuencas están expuestas al paso de tormentas tropicales y ciclones que se generan en el Atlántico Norte, Mar Caribe y Golfo de México. Aunque la zona costera del río Hondo es la más afectada por el efecto de los vientos, las lluvias torrenciales afectan ambas cuencas incrementando la recarga de sus acuíferos y ocasionando

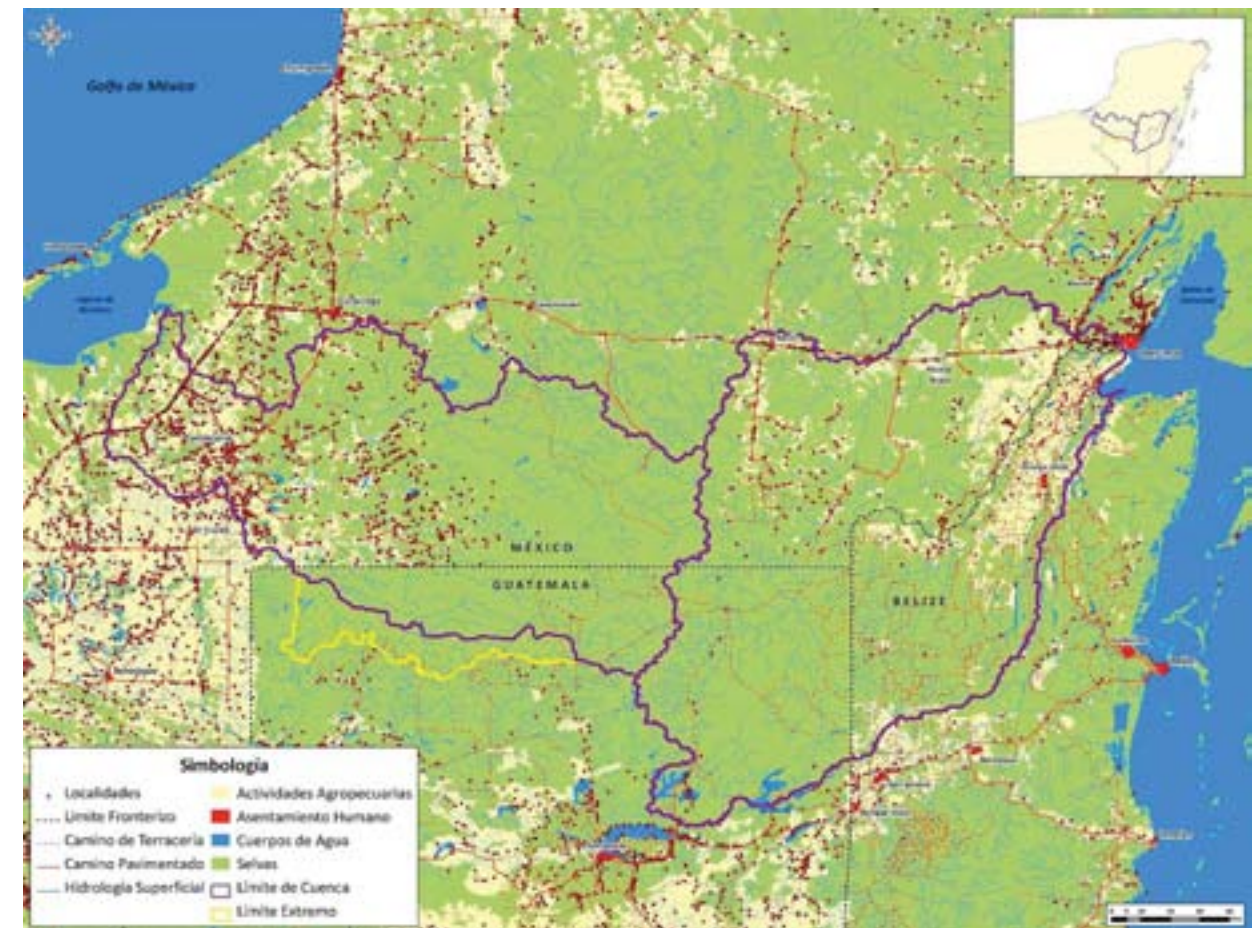


Figura 1. Ubicación general de las cuencas de los ríos Candelaria y Hondo.

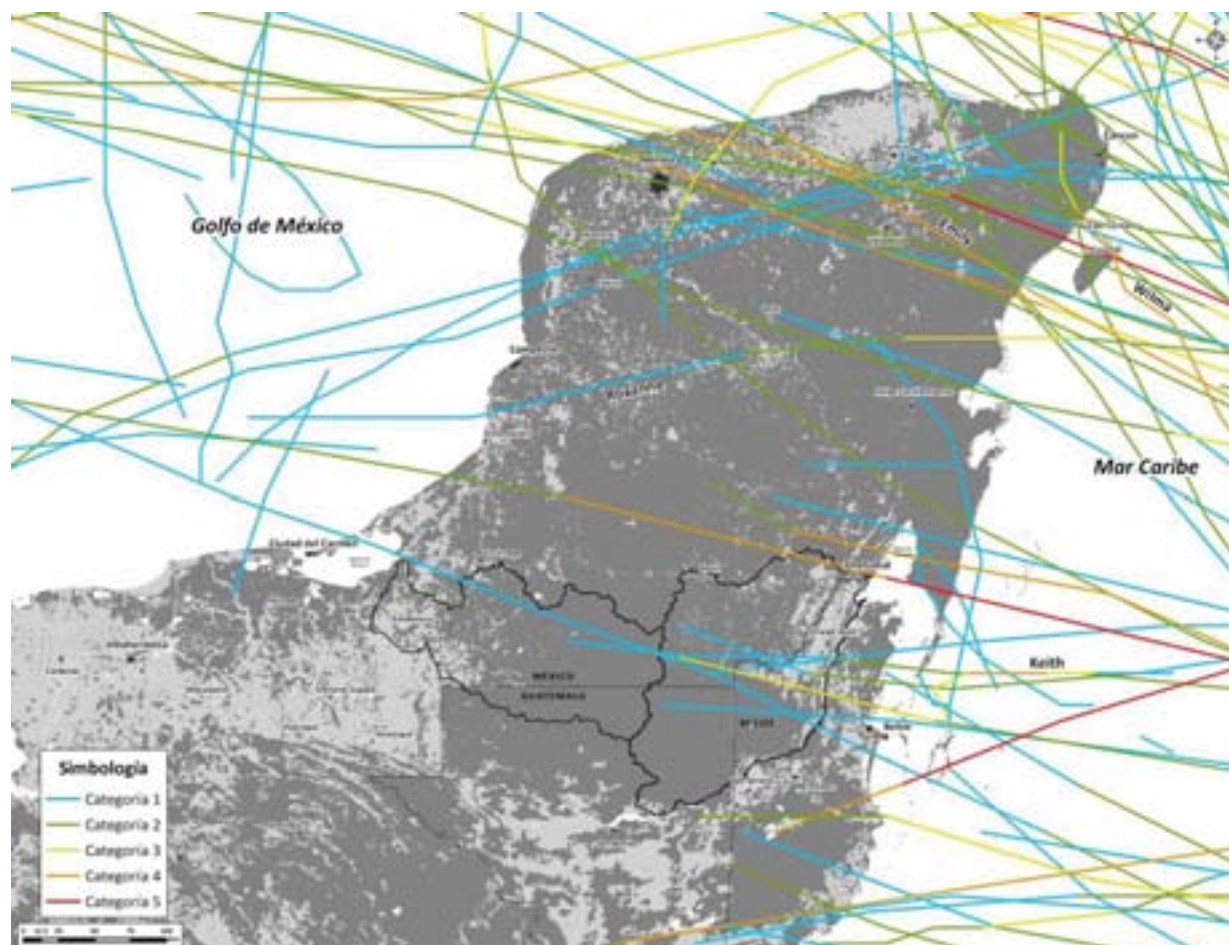


Figura 2. Trayectoria de huracanes ocurridos en los últimos 150 años en el área de Influencia de la región de estudio (Base de datos NOAA, 2007).

extensas inundaciones, como las causadas por *Roxanne* en 1995, *Mitch* en el 1998, *Keith* en el 2000 y *Wilma* y *Emily* en el 2005 (Figura 2).

Desde el punto de vista geológico, los cursos de ambos ríos se desplazan sobre una plataforma estratificada de carbonatos (dolomía/caliza) y evaporitas (yeso/anhidrita) de hasta seis kilómetros de espesor, producto de la actividad biológica marina que dio origen a todo el Bloque de Yucatán (Graham, 2003). Esta plataforma no presenta grandes cambios topográficos, por lo que la delimitación de microcuencas es difícil. Esta situación es particularmente cierta para la región sur del río Candelaria, donde los límites superficiales de la cuenca no están claramente definidos (ver límites extre-

mos en Figura 1). Es probable que esta área de topografía muy plana del Petén guatemalteco se inunde durante las precipitaciones extremas causadas por huracanes y conecte las cuencas adyacentes, modificando sustancialmente sus límites. Este escenario no se presenta en los límites de los ríos Candelaria y Hondo, ya que los procesos geológicos que hicieron emerger esta región por encima del nivel del mar, hace 55 millones de años, dieron lugar a un relieve muy ondulado que claramente define el parteaguas entre ambas cuencas.

La erosión de las partes altas e intermedias de ambas cuencas ha dado origen a arcillas que se han acumulado en las partes más bajas, rellenando e impermeabilizando depre-

siones del terreno con pendientes menores al 1%, y creando suelos de tipo Vertisol y Gleysol (PNUD/FAO, 1970). Estas depresiones se conocen con el nombre maya de Acalches, las cuales permanecen inundadas durante la temporada de lluvias y cubren cerca de un 20% del paisaje de la cuenca del río Candelaria, y alrededor de un 30% de la cuenca del río Hondo. En el centro de estas depresiones puede haber intersecciones con el manto freático y presentarse cuerpos de agua permanentes, denominados localmente como Aguadas (Figura 3A). Estas aguadas alcanzan una densidad cercana a dos cuerpos por hectárea y son de gran importancia para el sostenimiento de la fauna de la región en época de secas (García-Gil *et al.*, 2002).

Debido a la naturaleza cárstica del suelo, que permite una gran infiltración de la lluvia, la mayoría de las corrientes superficiales son intermitentes y muy escasas en la cuenca alta de ambos ríos. Los cauces permanentes de primer orden ocurren principalmente hacia la porción media de ambas cuencas, dejando un tercio de ellas sin elementos riparios importantes.

En la cuenca media, la dirección de los cauces principales está fuertemente influenciada por fallas geológico-estructurales, producto de los movimientos tectónicos de los últimos 23 millones de años. Esto es especialmente cierto para el río Hondo, cuyo cauce obedece a una gran fractura de la plataforma ocurrida durante el Mioceno y el Plioceno (Bautista *et al.*, 2005). El descenso escalonado en los niveles topográficos de estas áreas origina la presencia de saltos de agua y manantiales alimentados por el agua de infiltración que precipita en las cuencas altas (Figura 3B y 3C). Asimismo, la topografía plana de las porciones media y baja de ambas cuencas da lugar a extensas llanuras de inundación con vastos humedales (Benítez y Couturier, 2006; Figura 3D).

El escurrimiento medio anual del río Candelaria es aproximadamente de $1,600 \times 10^6 \text{ m}^3$

(CONAGUA 2008) mientras que el del río Hondo es de alrededor de $1,500 \times 10^6 \text{ m}^3$. La descarga directa al mar del agua subterránea puede ser muy importante. Para el caso del río Hondo es casi tres veces mayor que el caudal superficial (CONAGUA 2009). Para el río Candelaria se desconoce la magnitud de esta descarga, pero se estima que es menor debido a que, por un lado, el río no discurre sobre una falla geológica profunda y, por otro, la cuenca desemboca en la laguna de Términos, la cual por tener un origen terrígeno no presenta manantiales evidentes en la zona costera.

En ambos casos, la descarga hidrológica constituye un eficiente mecanismo de producción ecológica y pesquera. Este mecanismo tiene lugar porque el agua, los nutrientes y los sedimentos acarreados por estos ríos juegan un papel muy importante en la productividad primaria y en la biología de las especies costeras pesqueras, sobre todo en estadios juveniles (Ramos-Miranda *et al.*, 1999).

Las cuencas altas de ambos ríos presentan grandes extensiones de selva mediana subperennifolia, selva baja subperennifolia y selva baja caducifolia que dan continuidad a la flora de la península de Yucatán y del Petén guatemalteco (Galindo-Leal, 1999). En estas áreas se concentra el 80% de la flora peninsular, que corresponde aproximadamente a 2,200 especies de plantas vasculares (Díaz-Gallegos *et al.*, 2002). Asimismo, contienen cerca de 100 especies de mamíferos, 282 especies de aves (17 de ellas endémicas), 50 especies de reptiles, cerca de 400 especies de mariposas y una gran variedad de insectos (Lee, 2000; Salgado-Ortiz *et al.*, 2001; Martínez y Galindo, 2002; Vargas-Contreras, 2004 y 2005; Maya-Martínez, 2005).

Debido a la importancia que tiene la región para el refugio de flora y fauna, en la cuenca alta de ambos ríos se localizan importantes áreas sujetas a protección, como las reservas Maya, de Calakmul y de Balam ku. Además, en la desembocadura de estos afluentes se

localizan ecosistemas de gran valor ecológico. El río Candelaria desemboca en el sistema de reservas Términos-Centla, mientras que la desembocadura del río Hondo tiene influencia sobre las áreas protegidas de las bahías de Chetumal y Corozal. En estos sistemas costeros se han reportado más de 550 especies de plantas, alrededor de 100 especies de mamíferos, más de 60 especies de reptiles, 52 de peces y 27 de anfibios. Más importante aún, albergan 328 especies de aves locales y migratorias, lo que representa un tercio de todas las aves reportadas para México (Lot y Novelo, 1988; Ogden *et al.*, 1988; Brazda, 1998; Arriaga *et al.*, 2000; Lot, 2004; Córdova, 2007).

La alta biodiversidad de esta región es más evidente en las áreas donde coinciden fuentes de agua permanente y vegetación en buen estado de conservación. Es por ello que las aguadas, los cauces permanentes de primer orden (Figura 4A) y los humedales tienen un papel prioritario en la conservación de la flora y fauna regionales (Figura 4B). Esto confiere a la hidrología de ambas cuencas una especial importancia para el Corredor Biológico Mesoamericano. De hecho, una gran proporción de ambas cuencas ha sido incluida en los vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre detectados por CONABIO *et al.*, (2007).

Al igual que su medio ambiente, desde el punto de vista socioeconómico las cuencas de Candelaria y Hondo comparten rasgos similares. Esta región estuvo ampliamente poblada por los mayas en épocas prehispánicas, pero su población se mantuvo en muy baja densidad y concentrada en la zona costera desde la llegada de los españoles y hasta finales del siglo XIX. A partir de entonces, las partes altas de ambas cuencas (en los tres países) comenzaron a ser repobladas con campamentos temporales encargados de la extracción de maderas preciosas, el palo de tinte y el chicle (Szekely y Restrepo, 1988; Schwartz, 1990; Gates, 1993; Benítez *et al.*, 2008). Sin embar-

go, el aislamiento geográfico, la pobreza de los suelos y la escasez de agua impidieron los asentamientos permanentes en la región, que fueron abandonados con el colapso de la industria chiclera y la disminución del volumen de las maderas preciosas.

Del lado mexicano, la colonización extensiva de las cuencas media y baja fue promovida por el Gobierno Federal en la década de los 70's, como una política de aseguramiento de fronteras y de otorgamiento de espacios a campesinos sin tierras de otras partes de la república (Konrad, 1994; Pat, 2000; García-Gil, 2001; Pérez, 2002). Esta migración dio origen a la mayoría de los poblados de la región y reforzó el carácter netamente rural que tienen ambas cuencas. Del lado guatemalteco, la colonización también fue promovida desde el

gobierno central a partir de los años 60's, como una política de integración nacional orientada a las actividades agropecuarias y a la explotación de maderas preciosas (Schwartz, 1990).

No obstante los antecedentes históricos comunes, la dinámica poblacional actual ha presentado características diferenciales para cada cuenca. Para el caso del río Candelaria, el agotamiento de los suelos y el fracaso de las actividades productivas hacia finales de la década de los 90's y principios de este siglo, produjo un fenómeno de migración, principalmente hacia los Estados Unidos, que mantuvo el crecimiento poblacional en niveles bajos en la cuenca media y baja. De esta manera, durante la primera década de este siglo la población dentro de la cuenca ha tenido un crecimiento

negativo de -0.32% (INEGI, 2007). La población actual de 45,350 habitantes, es predominantemente joven (19 años en promedio) y está distribuida en 979 comunidades (Figura 5). El poblado de Candelaria, cabecera del municipio del mismo nombre, se localiza en la porción media de la cuenca y posee el 23% de la población total de la cuenca.

Aunque en términos generales la población del río Candelaria se ha contraído por fenómenos de migración, en los últimos años ha ocurrido una colonización ilegal en la porción media-alta de la cuenca por parte de campesinos de otras entidades, principalmente del estado de Veracruz. Estos nuevos colonos están organizados políticamente y actualmente ejercen presión tanto para que se les reconozca sus derechos de propiedad, como para

Figura 3. Elementos hidrológicos característicos de la región. A) aguada, B) salto de agua, C) manantial y D) planicie de inundación (fotografías del autor).





Figura 4. A) Cauce de primer orden dentro del Área Protegida de Balam ku; B) Nutria común (*Lontra longicaudis annectens*) en el río Caribe, tributario del río Candelaria (fotografías del autor).

recibir los servicios básicos de infraestructura. Estas localidades marginales se encuentran ampliando la frontera agrícola y comienzan a ejercer presión sobre el Área Estatal Protegida de Balam ku, en la cuenca alta.

Para el caso del río Hondo, la actividad turística y de prestación de servicios en la cuenca baja del lado mexicano ha mantenido la ola de inmigración que se originó en la segunda mitad del siglo xx. Actualmente, sólo un 56% de la población es nacida en Quintana Roo, mientras que el otro 44% proviene de Yucatán (30% de la población inmigrante), Veracruz (19% de la población inmigrante), Tabasco (12% de la población inmigrante), Campeche (9%), Chiapas (9%) y el Distrito Federal (4%).

La población total de la cuenca del río Hondo asciende a 228,607 habitantes. Al igual que Candelaria, la población es predominantemente joven, con poco más de la mitad de los habitantes menores de 20 años. Alrededor del 53% de la población se concentra en la ciudad mexicana de Chetumal localizada, en la desembocadura del río, y otro 24% dentro de

territorio mexicano. La ciudad más importante fuera de nuestro país es Orange Walk, Belice, con alrededor de 13,000 habitantes. Belice contiene el 21% de la población de la cuenca y Guatemala menos del 1%.

A diferencia de las tasas negativas de crecimiento del río Candelaria, la tasa de crecimiento poblacional anual del río Hondo es de 1.29% del lado mexicano, de 2.1% de lado beliceño y de 3.6% del lado guatemalteco. Con excepción de las zonas urbanas de Candelaria (8,033 hab) y Chetumal (121,602 hab), en ambas cuencas predominan las localidades de tipo rural, es decir, aquellas con menos de 2,500 habitantes. Aunque la población rural del río Candelaria es sólo un 50% de la del río Hondo (37,335 y 107,005 hab respectivamente), el río Candelaria presenta el doble de comunidades (979 y 400, respectivamente), lo que da una idea del carácter extensivo del patrón de asentamientos.

Tomando en cuenta la población urbana y rural, la densidad poblacional es de 3.3 hab/km² para la cuenca del río Candelaria y de 12.9 habitantes/km² para el río Hondo,

muy por debajo de la media nacional de 33 hab/km². Excluyendo la población urbana, la densidad de población es aún más baja: 2.7 y 6.0 habitantes/km² para Candelaria y Hondo, respectivamente.

Aunque las estadísticas socioeconómicas no están estandarizadas ni disgregadas a nivel local en los tres países que comparten ambas cuencas, es claro que existe un desarrollo desigual entre sus comunidades. Los números promedio muestran que al menos un tercio de la población está viviendo en pobreza, especialmente en el medio rural (CONAPO, 2009; PRESANCA, 2009). El porcentaje de viviendas urbanas que cuentan con los servicios de agua entubada, drenaje y energía eléctrica es superior al 90%, mientras que en localidades rurales esta proporción es sólo de un 25% (PRESANCA, 2009). Aunado a lo anterior, 65% de las viviendas que cuentan con servicios de alcantarillado funcionan a base de fosas sépticas, lo cual constituye una importante fuente de contaminación para el manto freático.

Los municipios que constituyen las cuencas de los ríos Candelaria y Hondo han presentado un menor desarrollo socioeconómico en comparación con otros municipios de sus respectivos estados. En términos del Índice de Desarrollo Humano (IDH), realizado por el PNUD (2009), el municipio de Candelaria presentó un

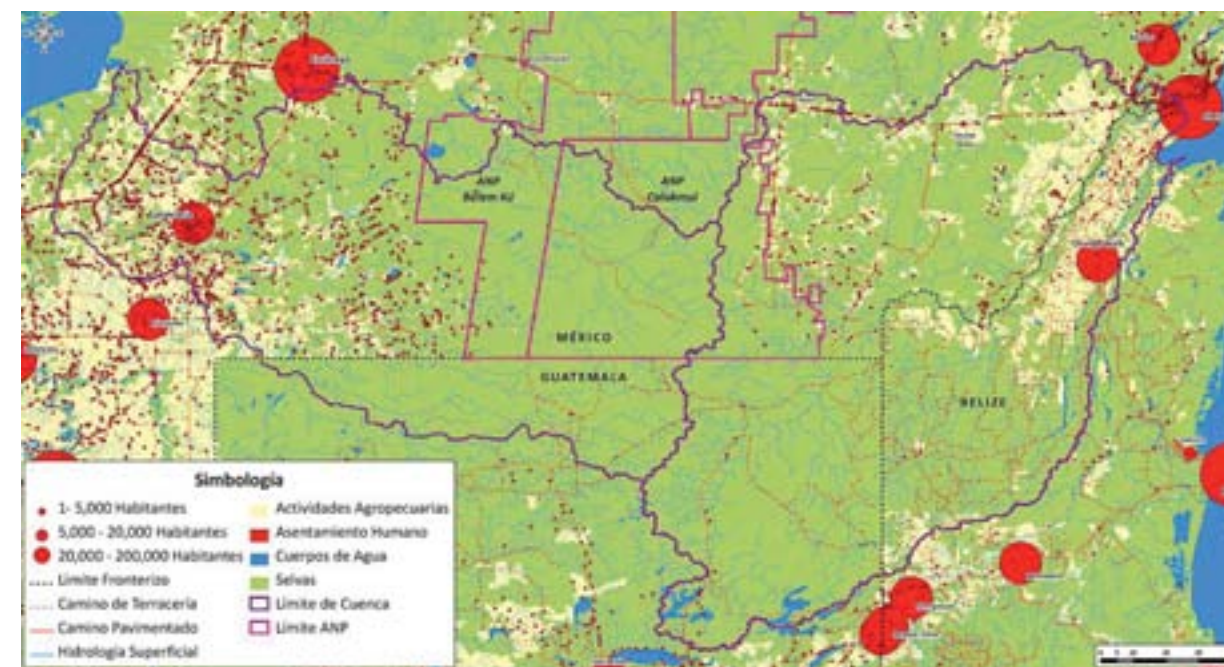


Figura 5. Distribución de la población en las cuencas de los ríos Candelaria y Hondo

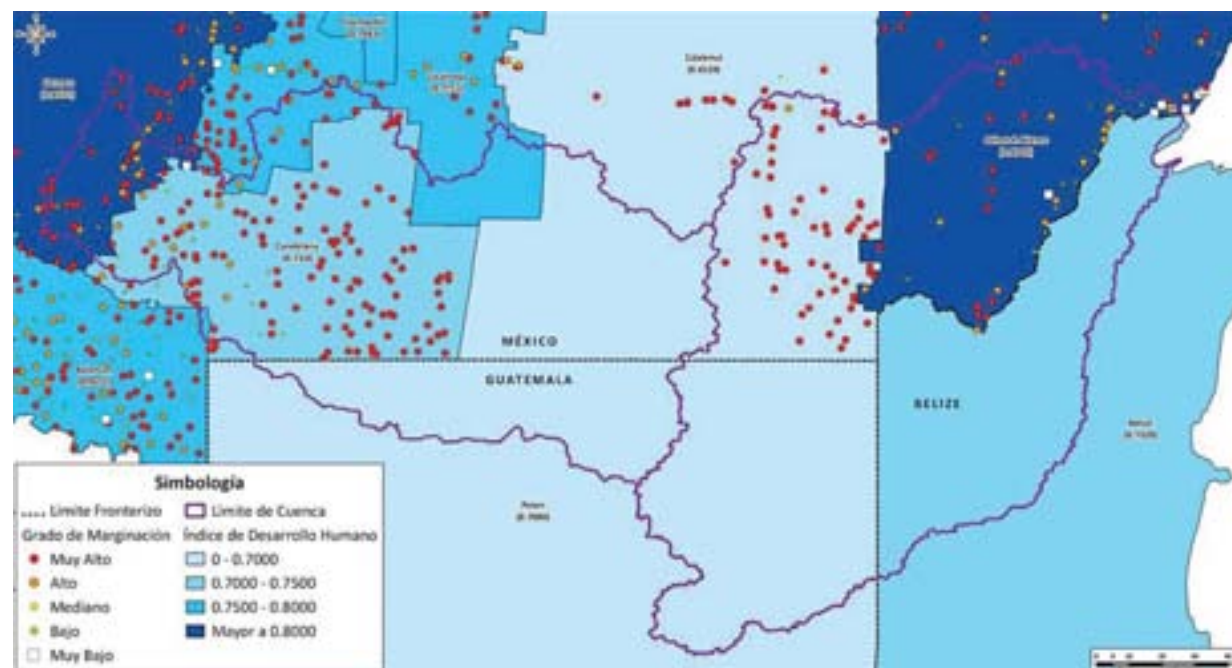


Figura 6. Grado de marginación en las cuencas de los ríos Candelaria y Hondo.

valor de 0.73 en el 2005, ocupando el segundo lugar más bajo del estado de Campeche. El IDH de Guatemala y Belice es aún más bajo, con valores de 0.68 y 0.7, respectivamente.

El municipio de Othón Blanco, en el lado mexicano de la cuenca del río Hondo, es el que presenta el IDH más alto de la región (0.82; PNUD 2009). Sin embargo, este IDH está fuertemente sesgado por las estadísticas de la ciudad de Chetumal (capital del estado), ya que de acuerdo con CONAPO (2009), 81% de las comunidades de la cuenca presentan una marginación que va de media a alta, 18% presentan una marginación baja y solamente Chetumal presenta una marginación muy baja (Figura 6).

En términos generales, las condiciones de desarrollo son menores en los municipios fronterizos de ambas cuencas y el grado de marginación a nivel de comunidad aumenta hacia la parte alta de las mismas. Esta situación de pobreza tiene connotaciones ambientales importantes, porque los problemas de contaminación e impacto ambiental suelen ser

mayores y más difíciles de eliminar en áreas de alta marginación socioeconómica.

CAMBIO DE USO DEL SUELO Y SUS CONSECUENCIAS AMBIENTALES

Desde un punto de vista cuantitativo, los principales factores del cambio de uso del suelo en la región han sido las actividades agropecuarias y, en menor grado, el crecimiento urbano. Actualmente, las áreas agropecuarias en las dos cuencas se concentran por debajo de la cota de los 100 m y se localizan, para el caso del río Candelaria, exclusivamente en territorio mexicano, y en proporciones similares en Belice y México para el caso del río Hondo. Una de las principales diferencias entre las dos cuencas es el tipo de actividades productivas que se desarrollan en ellas. Mientras que el principal uso del suelo en la cuenca del río Candelaria es la ganadería extensiva, la actividad principal de la cuenca del río Hondo es la agrícola (80% del PIB) y la prestación de servicios.



Figura 7. Cobertura y uso del suelo en la región de estudio.

La ganadería en la cuenca de Candelaria tiene un índice de agostadero cercano a dos hectáreas y su producción en 2006 fue de 129,000 cabezas de ganado (INEGI, 2007). En la cuenca del río Hondo, la agricultura comercial está dominada por los cultivos de exportación de caña de azúcar y arroz por inundación, los cuales se concentran a lo largo de la ribera, tanto en el municipio de Othón Blanco, en el lado mexicano, como en los distritos de Corozal y Orange Walk, en el lado beliceño. La prestación de servicios está enfocada principalmente al turismo y se concentra en la zona costera de México y Belice. Este desarrollo turístico ha fomentado la creación de bancos de extracción de materiales pétreos, tanto para vías de comunicación como para asentamientos humanos, aumentando la presión sobre el uso del suelo de la cuenca.

Las actividades económicas de Guatemala en ambas cuencas están más orientadas a la extracción forestal y el turismo y han tenido bajas tasas de conversión de la selva. Un factor importante en el cambio de la cobertura

vegetal en toda la región son los incendios forestales. Aunque casi la mitad de ellos están relacionados con actividades agropecuarias, en ciertos años, como en 1998, los incendios llegan a ser de tal extensión que pueden superar las tasas promedio anuales de deforestación (Domínguez y Rodríguez, 2008).

Debido a las actividades humanas descritas con anterioridad, la vegetación natural ha sido eliminada permanentemente en un 22% en la región de estudio. De acuerdo con la reconstrucción histórica de uso del suelo, a inicios de la década de los 70's las áreas boscosas cubrían el 95% de ambas cuencas; esta proporción se redujo 10% una década después, y a finales de la década de los 90's alcanzó su situación actual (Figura 7).

Si se toman en cuenta únicamente los porcentajes de superficies agropecuarias de cada periodo, las tasas de deforestación de las últimas décadas son relativamente bajas (0.8%/año,² en promedio), lo que indicaría un impacto ambiental moderado (Benítez *et al.*, 2005a; Couturier *et al.*, 2010). Sin embargo, si



a esta deforestación se agregan las tasas de recambio de acahuals, que para el caso del Candelaria son de alrededor del 35% y para el río Hondo del orden del 15%, se observa que las áreas que han permanecido sin perturbación humana reciente sólo representan un 45% para el río Candelaria y 65% para el Hondo. Las áreas mejor conservadas se localizan en las cuencas altas de ambos ríos, principalmente en suelo guatemalteco (Figura 7). Los procesos de deforestación se han concentrado en México y Belice, en las cuencas medias y bajas, y con tasas cercanas al 2% en los últimos 20 años.

El análisis de las tendencias de cambio de uso del suelo de los últimos años indica que si no se toman medidas correctivas, los procesos de deforestación eliminarán en la próxima década 15% más de la vegetación natural en

la cuenca del río Candelaria, y 5% en la del río Hondo. Si a esto sumamos las áreas de acahual altamente fragmentadas, se espera que para el año 2020 sólo 30% de la cuenca del Candelaria y 55% de la cuenca del río Hondo presenten vegetación natural en buen estado de conservación.

La conversión y/o fragmentación de la vegetación natural en las cuencas de los ríos Candelaria y Hondo tienen serias implicaciones ecológicas y económicas. Por un lado, la reducción de estos hábitats pone en riesgo la alta biodiversidad característica de la región y, por otro, la deforestación *per se* impide la explotación de muchos productos no maderables entre los cuales se encuentran las fibras, resinas, látex, frutas y medicamentos tradicionales que podrían ser la base de un desarrollo económico sustentable.

Sumado a lo anterior, la eliminación de la vegetación afecta negativamente la gran cantidad de bienes y servicios ambientales asociados al bosque, tales como la regulación del ciclo hidrológico y del clima, la conservación del suelo y de los nutrientes, la captación del carbono y la reposición del oxígeno a la atmósfera (Benítez *et al.*, en prensa). De acuerdo con estos mismos autores, la eliminación de un 10% de la vegetación remanente en la región tendría un costo económico mayor a 140 millones de dólares por la pérdida de los servicios ambientales que proporcionan estas selvas.

Uno de los servicios ambientales más afectados por la deforestación en la cuenca del río Candelaria es la regulación de la cantidad y calidad del agua que drena hacia los ecosistemas costeros (Benítez *et al.*, 2005b). Esto sucede porque la alta permeabilidad del terreno confiere a la vegetación un papel preponderante en la regulación de la descarga de los ríos, ya que la cobertura vegetal aumenta la evapotranspiración, lo cual disminuye el caudal hidrológico y la erosión.

Los estudios de modelación hidrológica realizados en la cuenca del río Candelaria sugie-

ren que la eliminación de la cobertura vegetal incrementa la cantidad de agua que drena de la cuenca (Sanvicente *et al.*, 2005). Además, se ha encontrado una relación directamente proporcional entre la cobertura vegetal y la calidad del agua de las corrientes superficiales (Amábilis y Benítez, 2005). Estos autores han demostrado que mientras mayor sea la franja de vegetación natural alrededor de las corrientes superficiales, mayor es la calidad del agua de los mismos. Por tal motivo, en la medida de que la deforestación de las áreas ribereñas avance, la respuesta integral de la cuenca será incrementar la exportación de nutrientes y agua. Estos cambios pueden tener un impacto directo en la productividad primaria de la laguna de Términos (Ehuan *et al.*, 2005) y pueden causar un efecto negativo sinérgico sobre las pesquerías de este cuerpo lagunar costero (Sosa, 2005; Ramos-Miranda, 2005a,b).

Para el caso del río Hondo, se desconoce si la cantidad de agua y de nutrientes exportados por la cuenca se han incrementado debido al cambio de uso del suelo, pero se espera que éste no sea el caso al presentar menores tasas de deforestación y recambio que la cuenca del río Candelaria. Sin embargo, el uso de fertilizantes y agroquímicos de la agricultura comercial está disminuyendo la calidad del agua en la zona costera. Estudios toxicológicos recientes en agua y sedimento de la bahía de Chetumal han detectado la presencia de 21 plaguicidas organoclorados (CONAGUA, 2009). De igual forma, esta agricultura comercial ha provocado la degradación y la erosión de la tierra debido a prácticas agrícolas inadecuadas, con el consecuente incremento de los sólidos en suspensión. No menos importantes son los problemas causados por el crecimiento de los asentamientos humanos, cuyos desechos han incrementado los valores de coliformes fecales, tanto en los poblados cercanos a los ríos, como en la zona costera (CONAGUA, 2009).

PROCESOS DE GESTIÓN Y ACUERDOS TRANSFRONTERIZOS

El manejo sostenible de las cuencas transfronterizas de los ríos Candelaria y Hondo requiere idealmente de una política de gestión integral entre México, Belice y Guatemala. Actualmente esta gestión está supeditada a las relaciones bilaterales que cada país establece con sus vecinos, y a las iniciativas municipales, estatales y federales que cada uno tiene dentro de su territorio. A continuación se revisan brevemente estas iniciativas.

Las relaciones de México con Guatemala tienen una larga tradición y datan desde mediados del siglo XIX. Sin embargo, gran parte de la agenda se ha centrado principalmente en temas de seguridad nacional, política sobre refugiados, procesos de paz y acuerdos sobre límites. Aunque en las últimas décadas ha existido la voluntad de colaboración en temas de medio ambiente, el manejo integrado de las cuencas de Candelaria y Hondo no ha encontrado de manera específica un espacio en las cancillerías de ambos países.

La Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) de la Secretaría de Relaciones Exteriores lleva a cabo las acciones de cooperación tanto con Guatemala como con Belice. Si bien dentro de sus funciones se considera la atención de asuntos de medio ambiente, su papel primordial desde su formación a finales de los años 70's ha sido la vigilancia del cumplimiento de los tratados internacionales relacionados con los límites y aguas internacionales. Esta política es más evidente en la frontera de Guatemala con el estado de Chiapas, y en menor proporción en las zonas fronterizas de los estados de Campeche y Quintana Roo.

De igual manera, en el marco del plan Puebla-Panamá, la Estrategia Mesoamericana de Sustentabilidad Ambiental (EMSA), establece el acuerdo de ambos países para la realización de acciones concretas en los temas de

control de incendios forestales, control fronterizo de tráfico de especies y sustancias peligrosas, áreas protegidas, control de residuos y cambio climático. Además, la EMSA intenta dar continuidad a importantes programas regionales como el Corredor Biológico Mesoamericano y el Sistema Arrecifal Mesoamericano, así como incorporar la experiencia de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. En el marco de cooperación de la EMSA, se han planteado iniciativas binacionales entre México y Guatemala, como la de crear un Fondo Verde para financiar las acciones de conservación. Sin embargo, a dos años de haberse ratificado este compromiso, se desconocen los alcances concretos logrados en sus temas prioritarios.

Las relaciones bilaterales entre México y Belice datan desde principios de los años 80's. Al igual que con Guatemala, esta relación se ha centrado en las últimas décadas en el desarrollo económico de la región, principalmente a través del Plan Puebla-Panamá, haciendo hincapié en el combate al narcotráfico y la vigilancia de los acuerdos internacionales de límites y aguas. Es precisamente a través del CILA, que en 2003 se analizó la posibilidad de realizar el estudio "Diagnóstico para el Manejo Sustentable del Agua en la Cuenca Internacional del río Hondo, México-Belice, al año 2025", cuyos resultados se entregaron a finales del 2007 (CONAGUA 2009). Con base en este estudio, en marzo de 2009 se creó la Comisión de la Cuenca del río Hondo, como órgano auxiliar del consejo de cuenca de la península de Yucatán y, un año después, se implementó el Programa de Gestión de la Cuenca (CONAGUA, en prensa).

Aunque el Programa de Gestión de la Cuenca del río Hondo se limita a la parte de la cuenca que corresponde a México, y más específicamente al municipio de Othon Blanco, hace una contribución importante porque establece metas específicas a corto plazo. Entre las principales acciones se señalan

el saneamiento de la ciudad de Chetumal y el mejoramiento de su sistema de alcantarillado, así como el manejo de residuos sólidos, todos ellos orientados a disminuir la contaminación del agua generada en la cuenca media y baja. Se calcula que dichas acciones de saneamiento requerirán cerca del 90% del presupuesto total, estimado en 1,167.4 millones de pesos (CONAGUA, en prensa).

Existen otros acuerdos binacionales entre México y Belice; uno es relativo a la formación de la Alianza para el Manejo de los Recursos Naturales Compartidos y, el otro, es referente al Acuerdo de Cooperación para la Conservación de los Recursos Naturales y para la Protección y Mejoramiento del Ambiente Fronterizo. Sin embargo los alcances o productos de estos acuerdos no se encuentran disponibles.

Las relaciones entre Belice y Guatemala son aún más recientes; inician en la década de los 90's con un énfasis en la definición de límites territoriales. Actualmente no existe una agenda binacional específica sobre manejo de cuencas.

A partir de lo descrito en párrafos anteriores, puede observarse que en general las relaciones entre México, Guatemala y Belice muestran un insuficiente trabajo para lograr cooperación en el manejo de las cuencas de Candelaria y Hondo. Aunque existen acuerdos de cooperación en materia ambiental, no hay seguimiento de los mismos. Aunado a lo anterior, importantes iniciativas internacionales en las cuales los tres países son signatarios, no han logrado aterrizar en acciones concretas locales. Tal es el caso de el Convenio sobre la Diversidad Biológica; la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres; la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural; la convención relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente Hábitat de Aves Acuáticas

(Convención Ramsar); la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación; el Convenio sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos, de los Desechos Peligrosos y su Eliminación (Convenio de Basilea); el Convenio para la Protección y el Desarrollo del Medio Marino de la Región del Gran Caribe (Convención de Cartagena); y la Convención de Derechos del Mar, entre otros.

ACCIONES LOCALES Y PERSPECTIVAS DE VINCULACIÓN

De manera alterna a los acuerdos transfronterizos e internacionales, existen iniciativas al interior de cada país que eventualmente facilitarían el manejo integrado de las cuencas de Candelaria y Hondo. Una de ellas es el Programa de Conservación y Turismo de Naturaleza realizado por el municipio de Candelaria. Este programa intenta, por un lado, diversificar la economía local hacia actividades sustentables y por otro, atraer programas federales de reforestación, pago de servicios ambientales y ordenamientos ejidales para la conservación de importantes áreas de vegetación natural dentro de la cuenca. Como parte de esta iniciativa, hasta el momento se ha establecido un Área Natural Protegida de carácter municipal y cuatro más se encuentran en proceso de diagnóstico. Asimismo, se han capacitado 22 guías de naturaleza y actualmente se trabaja en la infraestructura de pequeños proyectos comunitarios.

Por el lado del río Hondo, el Programa de Gestión de la Cuenca de la CONAGUA mencionado con anterioridad, es un paso importante hacia la protección de toda la cuenca. Aunque este programa solo se enfoca en el lado mexicano, pudiera vincularse con el plan de manejo de los recursos hidráulicos que la *Pro Tempore Water Commission* de Belice acaba de someter al Gobierno de Belice para su

adopción. De concretarse ambas iniciativas, se disminuirían significativamente los problemas de contaminación dispersa que ocurren en las porciones media y baja del río.

Es necesario un esfuerzo mayor entre las cancillerías de los tres países para compaginar las iniciativas internacionales con las acciones locales que actualmente se realizan. Dado que la presión de cambio de uso del suelo para el río Candelaria es más importante en México, así como en Belice lo es para el río Hondo, estos dos países deberán jugar un papel prioritario en el manejo de ambas cuencas.

El turismo convencional, enfocado de manera responsable, y el turismo de naturaleza, podrían ser los promotores de desarrollo socioeconómico de la región que ayuden a la aplicación de tecnologías limpias y reduzcan el riesgo de contaminación del agua. En este sentido, las áreas cercanas a los ríos son las más importantes para manejo y conservación. De igual forma, es necesario implementar programas de monitoreo conjuntos y estandarizados de la calidad del agua. Otras acciones importantes serían reforzar el sistema de áreas naturales protegidas de la región mediante el combate a la tala y el comercio de fauna ilegales, llevar a cabo el monitoreo de incendios forestales y establecer sistemas de alerta temprana contra inundaciones.

¹ El PNUD considera que el IDH es *bajo* si su valor es menor a 0.500, *medio* si está entre 0.500 y 0.800, y *alto* si es mayor o igual a 0.800. El valor máximo del IDH es 1.0 y a manera de comparación puede mencionarse que la delegación Benito Juárez en la Ciudad de México tiene un IDH de 0.9510, mientras que Milpa Alta tiene un IDH de 0.7984.

² La tasa promedio de deforestación para México en el mismo periodo fue menor al 0.5%.

Agradezco a la Dirección Local Campeche de la Comisión Nacional del Agua por el acceso a su base de datos. A Daniel Samarrón por su apoyo en el análisis geográfico de la información.

LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO: PRIORIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES

HELENA COTLER, ARTURO GARRIDO, VERÓNICA BUNGE, MARÍA LUISA CUEVAS

LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS representan divisiones naturales del paisaje y para muchos propósitos constituyen el contexto idóneo para la planeación y gestión de los recursos naturales. Pero la obtención de una imagen clara de la condición de las cuencas no es simple: los datos son a menudo limitados y las perspectivas sobre la manera de evaluar su estado son distintas entre las diferentes instituciones.

El funcionamiento eco-hidrológico de una cuenca se sustenta en un equilibrio frágil y dinámico, producto de la interacción entre sus componentes, incluyendo las acciones antrópicas. En el territorio de la cuenca se lleva a cabo parte del ciclo hidrológico, por ello cualquier alteración en algunos de sus componentes modifica la dinámica de este ciclo. En ese sentido, los cambios en la estructura y composición de la cobertura vegetal, los procesos de degradación de suelos o el sellamiento de la superficie por urbanización, alteran irremediablemente las condiciones de infiltración, escurrimiento, percolación y evapotranspiración del agua. Además dichos cambios modifican los parámetros ecológicos que determinan las

variaciones naturales en las importaciones y exportaciones de sedimentos, nutrientes y compuestos químicos (Brooks *et al.*, 1998).

Si bien actualmente carecemos de información que nos acerque a umbrales de degradación, contamos con indicadores de externalidades que nos revelan una situación de deterioro en las cuencas, ya sea por exceder su capacidad intrínseca de retener, absorber, degradar contaminantes, o por modificar su capacidad de regeneración natural y de adaptación ante escenarios de cambio global.

La complejidad y heterogeneidad de las cuencas nos confronta a establecer una escala geográfica de análisis adecuada para analizar y sintetizar la información disponible, con la finalidad de establecer parámetros fundados en un principio precautorio (Steinfeld *et al.*, 2006).

MIRADA DE LA SITUACIÓN NACIONAL A TRAVÉS DE LAS CUENCAS

Un primer resultado muestra que el 75% de la población del país está distribuida en sólo 13 cuencas: cuenca de México, río Balsas, Lerma-Chapala, río Bravo, río Santiago, río Pánuco,

Grijalva-Usumacinta, río Papaloapan, península de Yucatán, río Nazas, río Verde, río Tijuana y río Teicolutla. El resto de la población se distribuye en las otras 380 cuencas (Ruiz, en esta publicación).

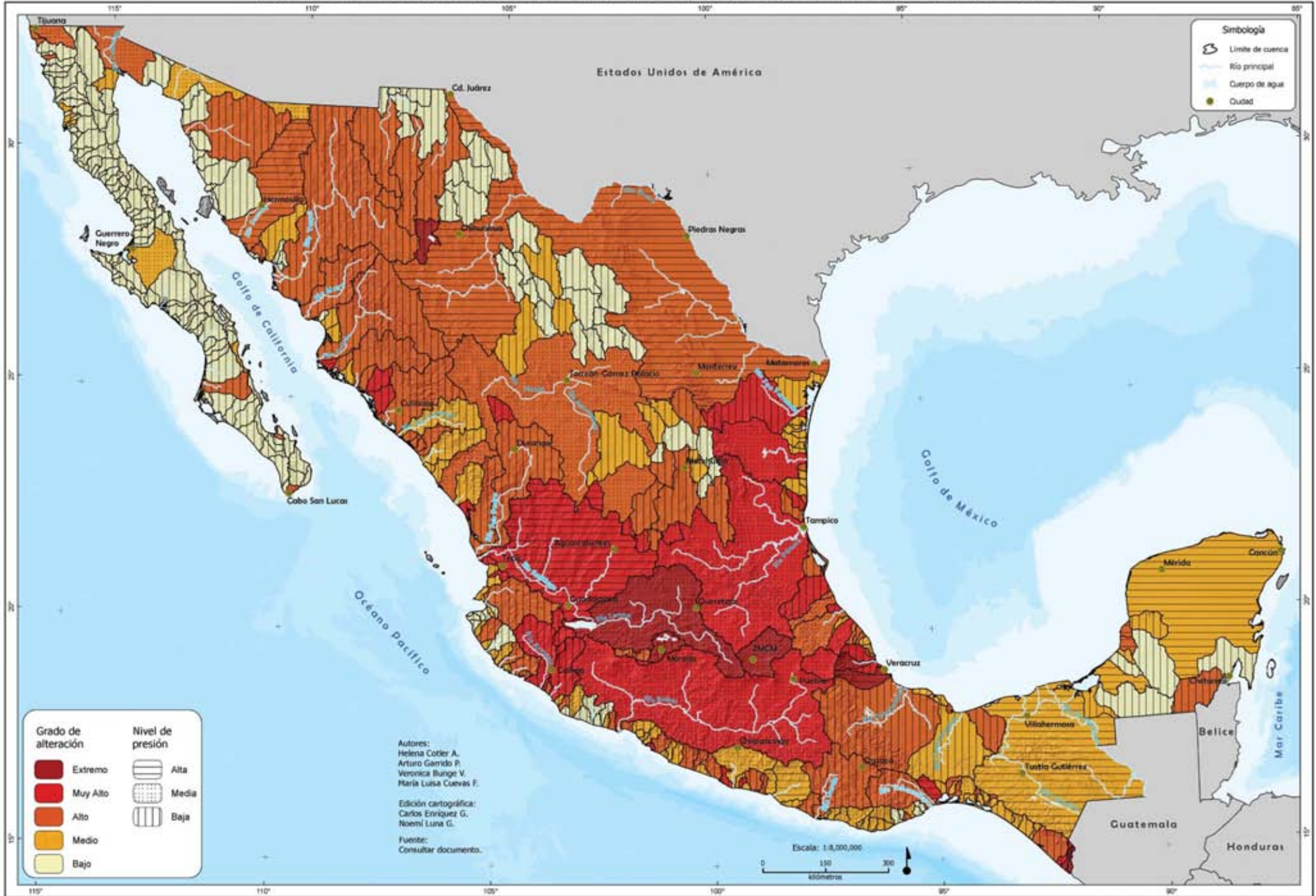
En algunas de las cuencas más pobladas, principalmente en las situadas en el centro y norte del país, como la Lerma-Chapala, de México, río Nazas, río Bravo y río Tijuana, ya se observa una fuerte presión hídrica como resultado de una baja oferta natural de agua y una intensa actividad productiva. Este fenómeno está siendo patente también, aunque con menor intensidad, en las cuencas de los ríos Balsas, Santiago y Pánuco (Bunge, en esta publicación).

A lo largo del territorio se presenta un patrón distintivo de oferta y distribución de agua, en el que las cabeceras de las cuencas caracterizadas por cursos de aguas temporales e incipientes difícilmente pueden mantener actividades agrícolas intensas; es decir, que a pesar de constituir ámbitos de infiltración y recarga, los pobladores, mayoritariamente indígenas (Boege, 2009), en situación de alta y muy alta marginación (Anzaldo *et al.*, en esta publicación) no pueden beneficiarse del valor

agregado que otorga el agua. El agua capturada en estas regiones abastece presas, sistemas hidroeléctricos, distritos de riego, ciudades y centros turísticos, que ofrecen mejores condiciones económicas a los pobladores de las zonas bajas, los que a su vez presentan un menor grado de marginación. Esta situación es patente en cuencas que albergan distritos de riego en las zonas bajas, como el arroyo Bramonas y el estero Santo Domingo, en Baja California; los ríos Fuerte, Sinaloa y San Lorenzo, en Sinaloa; la cuenca del río Tomatlán en Jalisco o la cuenca del río Pánuco. Lo mismo se observa en cuencas donde se ha privilegiado el desarrollo turístico en las partes bajas, como la cuenca del río Ixtapa, en Guerrero, o la península de Yucatán.

La disponibilidad de agua proporciona servicios básicos para el ser humano, por ello, no resulta sorprendente que el 35% de la población del país se asiente en las partes bajas de las cuencas, a pesar de que sólo ocupan 19% del territorio nacional.¹ En estas partes bajas, la confluencia de los ríos aumenta su capacidad de almacenamiento y posibilita la realización de múltiples actividades productivas. Sin embargo, esta condición se encuentra amena-

GRADO DE ALTERACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS CUENCAS Y NIVEL DE PRESIÓN ESPERADO



zada por los graves problemas de contaminación que presentan los ríos, lagos y acuíferos, y por los cambios climáticos que se prevé modificarán los patrones de precipitación y temperatura actuales, lo cual repercutirá en el balance hídrico de las cuencas (Bando *et al.*, en esta publicación).

Tomando en cuenta el nivel de fragmentación de los ríos y el estado ecológico de las zonas riparias, las cuencas con mayores niveles de deterioro eco-hidrológico son la cuenca de México, el río Balsas, el lago de Cuitzeo, el río Bravo, el río Santiago, el río Pánuco y el río de San Luis Potosí. El conjunto de ríos que forman parte de las cuencas mencionadas equivale al 31% de la longitud total de ríos de México y en sus alrededores reside más de la mitad de la población del país (Garrido *et al.*, en este mismo documento).

INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES

El agua, como recurso estratégico, depende del manejo sostenible de los ecosistemas, que por esta razón debería constituir una prioridad nacional. Ahora bien, los ecosistemas, como sistemas complejos, operan a través de múltiples procesos que se diferencian en escalas temporales y espaciales, dando lugar a dinámicas funcionales diversas (Osmond *et al.*, 1980). Por ello, cualquier acción, programa o esquema de manejo debe estar sustentado en datos, información y conocimiento que permita prever efectos y externalidades, inferir escenarios futuros e incrementar la adaptación de los ecosistemas a los cambios globales actuales; es decir, la ciencia debería convertirse en el principal sustento de toda toma de decisiones.

Ante el incremento de la incertidumbre derivada de procesos como el cambio climático, requerimos una mayor información que nos permita establecer una gestión flexible y adaptativa. Sin embargo, en varios temas críti-

cos estamos aún lejos de ese panorama. El agua, eje conector y conductor en las cuencas, constituye uno de los ejemplos más notables. Es sabido que las variaciones en los caudales de los ríos modifican el almacenamiento en presas y la disponibilidad de agua para el riego; su registro continuo permite establecer sistemas de alerta temprana ante inundaciones. Sin embargo, hoy en día, la red hidrométrica de México cuenta con sólo 1,488 sitios de monitoreo (Geobase de CONAGUA, 2009), los cuales cubren menos del 7% de las cuencas del país, (99 cuencas de 1,471). Además, 53% de estos sitios (791) están concentrados en sólo cinco cuencas (Lerma-Chapala, Balsas, Santiago, Pánuco y Grijalva-Usumacinta).

Con relación a la red de calidad de agua (CONAGUA, 2009) tenemos un panorama semejante. El país cuenta con aproximadamente 511 sitios donde se evalúa la calidad del agua a través de indicadores básicos como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST). Estos sitios se ubican en 97 cuencas (6.6% de las cuencas del país) y el 43% de ellos están concentrados en las mismas cinco cuencas: Lerma-Chapala, Balsas, Santiago, Pánuco y Grijalva-Usumacinta.

Independientemente de su distribución geográfica, aún se requiere fortalecer los datos de calidad de agua, tanto en relación a los tipos de indicadores (mediante la incorporación extensiva de indicadores biológicos) como de la homogeneización de la forma y de los umbrales utilizados para su análisis en el tiempo. A pesar de la evaluación heterogénea, Aboites *et al.* (2008:25) señalan que entre 1999 y 2007 “la cantidad de agua con calidad excelente ha disminuido en 32%, la contaminada ha aumentado en 31% y la fuertemente contaminada se ha mantenido en la misma cantidad en los cuatro últimos años”.

La disposición de la red de monitoreo fue válida en su momento: se privilegiaron lugares de acuerdo a su cercanía a ciudades y centros

industriales, muchos en la desembocadura de las cuencas (Ing. Mejía Maravilla, CONAGUA, *comunicación personal*). Hoy en día estas premisas tendrían que ser replanteadas, en función de la nueva distribución de las ciudades medias en crecimiento, de los nuevos centros industriales, o bien en razón a prioridades ambientales como la conservación de humedales y manglares y la prevención de la contaminación difusa provocada por el uso de agroquímicos o las actividades pecuarias.

De cualquier forma, sólo una red de monitoreo densa, continua y bien distribuida puede permitirnos establecer una línea base, evaluar los cambios temporales e implementar acciones preventivas. Por ello, resulta indispensable fortalecer, diversificar y extender los sitios de muestreo, tanto hidrométricos como de calidad de agua.

El agua no es el único componente del ecosistema poco estudiado. La identificación de las fuentes contaminantes, como pesticidas o fertilizantes, aún es genérica; el levantamiento de la batimetría de las presas —como medio para evaluar su sedimentación— es esporádico y el monitoreo homogéneo y comparable de la degradación de suelos, inexistente.

Éstos, entre otros vacíos, influyen en la información de los mapas aquí presentados. Dado que “la estadística nos da un pálido indicio del profundo cambio” (Aboites, 2009), la ausencia de datos constituye un obstáculo para el entendimiento integral de los ecosistemas así como para la realización de análisis prospectivos.

Por ello, siendo los datos un bien público, requieren de políticas públicas que promuevan su generación y permitan su actualización y comparación, como una acción prioritaria



FOTO: ALVARO FIGUEROA

INDICADOR	IMPACTO EN LA DINÁMICA FUNCIONAL DE LAS CUENCAS
Índice de Transformación Humana de los Ecosistemas (ITHE)	Grado de transformación humana de los sistemas naturales: cambios en la conectividad, capacidad de infiltración, evapotranspiración, así como en la dirección de los flujos hídricos (escorrentía). Pérdida de biodiversidad y hábitat. Promueve procesos de erosión.
Degradación de suelos	Alteración del estado y de las funciones de los suelos: disminuye infiltración, aumenta evaporación y escorrentía, promueve generación de sedimentos y contaminación de cuerpos de agua.
Fragmentación de ríos y deterioro de zonas riparias	Segmentación, interrupción y desviación del caudal de los ríos por presas, diques, bordos, canales y carreteras; promueve cambios en la cantidad y calidad del agua y sedimentación, ocasionando pérdida de biodiversidad acuática. Cambios en el régimen hidrológico de la cuenca y el balance hídrico cuenca alta-cuenca baja. Pérdida y degradación de los sistemas riparios: pérdida de vegetación y fauna riparia, altera flujos hídricos, disminuye posibilidad de autodepuración hídrica y retención de sedimentos. Pérdida de hábitat y biodiversidad. Promueve el establecimiento de especies exóticas.
Presión hídrica	Proporción del volumen de agua extraída para usos consuntivos en relación al agua naturalmente disponible: agotamiento del recurso hídrico, ausencia de caudal ecológico; desequilibrio hídrico.
Contaminación potencial difusa	Generación y concentración de contaminantes provenientes de agroquímicos: contaminación de suelos y de cuerpos de agua. Deterioro de la calidad de agua. Pérdida de funciones riparias.

Cuadro 1. Variables consideradas para estimar la alteración de la dinámica funcional de las cuencas.

para el adecuado conocimiento y desarrollo del país a partir de sus recursos territoriales. Existe una especial necesidad de investigación y seguimiento a largo plazo, integrada a través de escalas espaciales y temporales adecuadas. Mientras tanto, a falta de un conocimiento certero, es indispensable mantener un principio precautorio en las acciones y programas de manejo para evitar un daño irreversible en muchas de las cuencas del país.

PRIORIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Cada uno de los capítulos desarrollados ha presentado una priorización temática de las cuencas de México; en la gran mayoría se han resaltado aquellas cuencas que presentan una mejor o peor condición bajo una óptica particular. A continuación se presenta una priorización de las cuencas hidrográficas en función, por un lado, de la alteración de su dinámica funcional, estimada a partir de las variables dispuestas en el Cuadro 1, y por el otro, por los niveles de presión que ejercerían el crecimiento proyectado de la población (al 2030) y las

tendencias de cambio de uso de suelo (a partir de lo que ocurrió desde 1976 a 2008), todos fenómenos que podrían agudizar la alteración funcional de cada cuenca.

La integración y comparación de las variables se hizo a través del diseño de un árbol de decisiones (Anselin y Meire, 1989), bajo el contexto del análisis espacial multi-criterio. Los criterios que conformaron la estructura del árbol de decisiones se jerarquizaron y se les otorgó un peso con el cual se ponderó el valor que cada criterio tenía para cada cuenca (Sharifi y Herwijnen, 2003). Las 393 cuencas del país se clasificaron de manera jerárquica en función de un valor agregado final, el cual, fue reclasificado en clases interpretativas que están contenidas en el mapa adjunto.

Las variables del árbol de decisiones fueron estandarizadas y ponderadas en función de lo reportado en la literatura, así como de los juicios y conocimientos de los autores de este trabajo. En cada etapa se evaluó la consistencia y sensibilidad de las múltiples decisiones tomadas, observando un valor coherente y aceptable (Sharifi y Herwijnen, 2003).

Grado de deterioro funcional de las cuencas	Superficie total (km ²)	Superficie relativa (%)
Bajo	286,510	14.8
Medio	364,696	18.8
Alto	837,540	43.2
Muy alto	376,875	19.5
Extremo	72,386	3.7
Total	1,938,007	100.0

Cuadro 2. Grado de deterioro funcional de las cuencas hidrográficas de México.

Niveles de presión esperada	Superficie total (km ²)	Superficie relativa (%)
Bajo	967,443	49.9
Medio	448,877	23.2
Alto	521,687	26.9
Total	1,938,007	100.0

Cuadro 3. Niveles de presión esperados en las cuencas hidrográficas de México.

ALTERACIÓN DE LA DINÁMICA FUNCIONAL DE CUENCAS Y NIVELES DE PRESIÓN ESPERADOS

El análisis de las variables para estimar la alteración de la dinámica funcional de las cuencas del país, indica que 66% de éstas presentan un grado de deterioro de alto a extremo en su funcionamiento (Cuadro 2).

En el mapa adjunto puede observarse que las cuencas con grados extremos de alteración se ubican principalmente en el centro-oriente del país, representados por la cuenca Lerma-Chapala, Cuitzeo, cuenca de México, Jamapa y La Antigua (ambas en Veracruz), aunque también sobresalen en la frontera sur del país el río Suchiate y Caohacán y en el norte resalta una pequeña cuenca aislada: lago de Bustillos.² A partir de las cuencas centrales más alteradas se extiende el deterioro hacia otras grandes cuencas como río Balsas, río Pánuco y río Santiago, y a partir de ellas hacia las cuencas más pequeñas que las rodean. En el caso de la periferia del río Balsas resaltan los ríos Actopan, La Antigua, Bobos, lago Santa Ana, río Salado, lago Zirahuén y en el

occidente, río Armería, río Coahuayna, río Atotonilco, Sayula y arroyo Piedra Ancha. Alrededor de la cuenca del río Pánuco, los niveles muy altos de alteración se muestran en las cuencas de Soto La Marina, río Conchos-Chorreras, río Tigre, río Tuxpan y río Tenixtepec en Veracruz y cuenca San Luis Potosí. Finalmente, alrededor de la cuenca del río Santiago, cuencas pequeñas como río Huicicila y El Palillo (Nayarit), arroyo Los Abrojos, lago Santa Ana, presa San Marcos y lago Sartenejo (Zacatecas) ya se encuentran en un estado de muy alto deterioro.

Estos niveles muy altos de alteración se observan en otras cuencas del país. En el Pacífico norte sobresalen el estero La Inicial, río Évora, río Pericos, lago de Santiaguillo y laguna Agua Grande; en el Pacífico sur resaltan río La Sabana, río La Estancia y río Los Perros, mientras que en el Golfo se distingue a la cuenca del río Tolomé.

El restablecimiento de los componentes y procesos que determinan la dinámica funcional de una cuenca puede tomar algunos años o décadas, en función del grado de deterioro, del tamaño de la cuenca y de la presión a la que está sometida. Por ello resulta importante identificar algunas presiones futuras que podrían influir en los contextos ambientales.

El cambio de la cobertura vegetal constituye el principal detonador de la transformación de los ecosistemas (Vitousek *et al.*, 1997) que conlleva procesos de degradación y pérdida de los servicios ambientales, como alteración de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, la introducción de especies exóticas y la pérdida de hábitat en general (Velázquez *et al.*, 2002). La tendencia en el cambio de cobertura vegetal en las cuencas de México, de 1976 a 2008, a través del valor de pérdida anualizada (en ha/año), constituye un referente de los cambios que podrían seguir ocurriendo, así como de la pérdida de funciones de la cuenca en un futuro próximo. Otro detonador importante está constituido por la población, como

consumidora de bienes y servicios ambientales y generadora de externalidades (Pisanty *et al.*, 2009). La tasa de crecimiento poblacional (2005 al 2030) sugiere la presión a la que podría estar sujeta la dinámica funcional de las cuencas hidrográficas del país.

Estas dos variables se encuentran agregadas bajo el término de Niveles de Presión Esperada, los cuales pueden llegar a ser altos para el 27% de las cuencas del país (Cuadro 3).

CUENCAS HIDROGRÁFICAS PRIORITARIAS

Las variables y la metodología utilizada nos guiaron en la priorización de las cuencas hidrográficas, tanto por la alteración en su dinámica funcional como por los niveles de presión a los que podrían estar sujetas en los próximos años.

Considerando las dos variables, encontramos que 50% de las cuencas de México presentan un grado de alteración muy alto a extremo o un nivel de presión alto. De éstas, 43 cuencas (23% del territorio nacional) requieren medidas urgentes para recuperar su funcionamiento eco-hidrológico (Cuadro 4, Mapa 2). Por su parte, 21 cuencas (27% del país) requieren una gestión preventiva, porque a pesar de que su grado de deterioro aún es medio o bajo, la presión a la cual se verán sometidas en los próximos años es alta y podrían cambiar su situación actual rápidamente.

Finalmente, en México hay cinco cuencas (4% del territorio nacional) que presentan tanto una alteración de la dinámica funcional muy alta a extrema y niveles de presión altos. Estas son: estero La Inicial (Sinaloa), río Santiago (Jalisco, Nayarit, Aguascalientes, Durango y Zacatecas), río Los Perros (Oaxaca), río Jamapa (Veracruz), lago Santa Ana (Zacatecas y San Luis Potosí).

En una cuenca, todos sus elementos están fuertemente interconectados, por ello los resultados de los errores cometidos se difunden hacia todo el territorio. La recuperación

de las funciones de las cuencas debe incluir la reconsideración de las actividades productivas, —sobre todo aquellas con mayor generación de externalidades negativas— y la focalización de acciones de restauración en zonas estratégicas como cabeceras, zonas riparias y zonas de recarga.

Considerando la distribución territorial, en el país tenemos 17 cuencas³ con un nivel de alteración de la dinámica funcional muy alta a extrema, que abarcan a más de un estado, y en las cuales es indispensable la participación del Gobierno Federal. En relación a los niveles de presión esperados son seis las cuencas que comparten territorio administrativo (río Santiago, río Quetzala, río Bravo, río Jamapa, Grijalva-Usumacinta y península de Yucatán). Sin embargo, la implementación del manejo integral de estos territorios parte del supuesto de la cooperación y coordinación entre instituciones; éstos son arreglos que indudablemente implican distintos y grandes esfuerzos en términos de compromisos entre el gobierno y la sociedad organizada (Cotler y Caire, 2009).

La representación de nuestra situación ambiental y social por cuencas pretende abrir nuevas puertas hacia una planeación territorial distinta, alternativa, que trace nuevas rutas capaces de posibilitar la recuperación de las funciones eco-hidrológicas de las cuencas, el mantenimiento de sus servicios ambientales y la cooperación interinstitucional.

¹ Las partes medias de las cuencas ocupan 46% del territorio nacional y albergan al 43% de la población, mientras que las partes altas ocupan el 35% del territorio y son asiento del 22% de la población.

² Asimismo esta cuenca presenta la anomalía en el cambio de precipitación proyectada más elevada (Bando *et al.*, en esta publicación).

³ Lago de Cuitzeo, Lerma-Chapala, cuenca de México, río La Antigua, río Jamapa, río Santiago, río Armería, río Salado, río Balsas, río Conchos-Chorrera, río Soto La Marina, río Pánuco, río Tuxpan, río Bobos, presa San Marcos, arroyo Los Abrojos y río Coahuayana.

CUADRO 4. CUENCAS HIDROGRÁFICAS PRIORITARIAS DE MÉXICO: POR ALTERACIÓN DE LA DINÁMICA FUNCIONAL Y NIVELES DE PRESIÓN						
GRADO DE ALTERACIÓN DE LA DINÁMICA FUNCIONAL				NIVEL ALTO DE PRESIÓN ESPERADA		
Nombre de la cuenca	Grado de alteración de la dinámica funcional	Área (km ²)	Superficie Relativa (%)	Nombre de la cuenca	Área (km ²)	Sup. Relativa (%)
Lago de Cuitzeo	Extremo	3,822	0.20	Arroyo El Descanso	690	0.04
Lerma Chapala	Extremo	48,139	2.48	Punta Ensenada	299	0.02
Río Cahoacan	Extremo	488	0.03	Arroyo El Salto	464	0.02
Río Suchiate	Extremo	481	0.02	Río Sonora	27,976	1.44
Cuenca de México	Extremo	9,223	0.48	Estero La Inicial	766	0.04
Río La Antigua	Extremo	2,190	0.11	Río Santiago	76,273	3.94
Río Jamapa	Extremo	4,062	0.21	Arroyo Punta de Agua	378	0.02
Lago Bustillos	Extremo	3,981	0.21	Río Marquelia	1,328	0.07
Estero La Inicial	Muy Alto	766	0.04	Río Quetzala	7,255	0.37
Río Evora	Muy Alto	2,455	0.13	Lagunas Quirio	238	0.01
Río Pericos	Muy Alto	2,675	0.14	Río Los Perros	1,804	0.09
Laguna Agua Grande	Muy Alto	837	0.04	Río Chicapa	630	0.03
Lago de Santiaguillo	Muy Alto	2,456	0.13	Río Bravo	222,560	11.48
Arroyo Piedra Ancha	Muy Alto	459	0.02	Río Jamapa	4,062	0.21
Lago Sayula	Muy Alto	1,482	0.08	Río Temoloapa	251	0.01
Lago Atotonilco	Muy Alto	1,167	0.06	Grijalva-Usumacinta	87,738	4.53
Río Santiago	Muy Alto	76,273	3.94	Río Mamantel	5,462	0.28
Río El Palillo	Muy Alto	511	0.03	Río Champotón	1,232	0.06
Río Huicicila	Muy Alto	667	0.03	Laguna Xmuchil	766	0.04
Río Armería	Muy Alto	10,254	0.53	Península de Yucatán	79,458	4.10
Arroyo La Salada	Muy Alto	225	0.01	Lago Santa Ana	2,057	0.11
Río Salado	Muy Alto	4,727	0.24			
Río Balsas	Muy Alto	112,061	5.78			
Lago de Zirahuén	Muy Alto	273	0.01			
Lagunas El Potosí	Muy Alto	246	0.01			
Río La Sabana	Muy Alto	825	0.04			
Río La Estancia	Muy Alto	316	0.02			
Río Los Perros	Muy Alto	1,804	0.09			
Río Coatán	Muy Alto	570	0.03			
Río Conchos-Chorreras	Muy Alto	17,999	0.93			
Río Soto La Marina	Muy Alto	21,081	1.09			
Río Tigre	Muy Alto	1,154	0.06			
Río Pánuco	Muy Alto	88,793	4.58			
Río Tuxpan (Pantepec)	Muy Alto	6,718	0.35			
Río Tenixtepec	Muy Alto	569	0.03			
Río Bobos	Muy Alto	2,929	0.15			
Río Actopan	Muy Alto	1,999	0.10			
Río Tolomé	Muy Alto	1,069	0.06			
Lago Santa Ana	Muy Alto	2,057	0.11			
Presa San Marcos	Muy Alto	955	0.05			
Arroyo Los Abrojos	Muy Alto	1,400	0.07			
Cuenca de San Luis Potosí	Muy Alto	1,813	0.09			
Río Coahuayana	Muy Alto	7,290	0.4			
Total		449,261	23.18		521,687	26.92

BIBLIOGRAFÍA

- ABELL, R., D. Olson, E. Dinerstein, P. Hurley *et al.*, 2000. *Freshwater Ecoregions of North America: a Conservation Assessment*, World Wildlife Fund, Island Press.
- ABOITES, L., E. Cifuentes, B. Jiménez y M.L. Torregrosa, 2008. *Agenda del agua*, Academia Mexicana de Ciencias, México.
- ABOITES, A.L., 2009. *La decadencia del agua de la nación. Estudio sobre desigualdad social y cambio político en México, segunda mitad del siglo XX*. El Colegio de México, México D.F.
- ADLER, R.W., 2007. *Restoring Colorado River Ecosystems: a Troubled Sense of Inmensity*, Island Press, Washington, D.C.
- AGUILAR, A.G., 2008. Peri-urbanization, Illegal Settlements and Environmental Impact in Mexico City, *Cities* 25: 133-145.
- AGUILAR, E., 1996. *Water Resources Planning and Integrated Watershed Management*, San José, Costa Rica, May 6-7 1996, pp. 1-20.
- ALCÁNTARA, I., R.L. Gamita y R.C. Borja, 2007. Distribución de procesos de remoción en masa y desastres asociados en México (1920-2006), In: A. Coll (coord.), *Nuevo Atlas Nacional de México*, Sección Naturaleza; NAXIV7, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- ALKEMADE, R., M. van Oorschot, L. Miles, C. Nellemann, M. Bakkenes y B. ten Brink, 2009. GLOBIO 3: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss, *Ecosystems* 12: 374-390.
- AMÁBISIS SOSA, L.E. y J.A. Benítez, 2005. Patrones espaciales y estacionales de la calidad de agua y su relación con la cobertura vegetal, *Jaina*, volumen especial: 14-15.
- AMEZCUA, I., G. Carreón, J. Márquez, R. Vidal, I. Burgués, S. Cordero y J. Reid, 2007. Tenosique: análisis económicoambiental de un proyecto hidroeléctrico en el Río Usumacinta, Conservation Strategy Fund, Conservación Estratégica, Serie Técnica N° 10.
- ANSELIN, A. y P.M. Meire, 1989. Multicriteria Techniques in Ecological Evaluation: An Example Using the Analytical Hierarchy Process, reprinted from: *Biological Conservation*, 49: 215-229.
- ANZALDO, G.C. y V.A. Rivera, 2006. Evolución demográfica y potencial de desarrollo de las ciudades de México, In: Consejo Nacional de Población (CONAPO), *La situación demográfica de México, 2006*, México, pp. 207-231.
- ANZALDO, G.C., E.J.C. Hernández y A. Rivera, 2008. Migración interna, distribución territorial de la población y desarrollo sustentable, In: Consejo Nacional de Población, *La situación demográfica de México, 2008*, México, pp. 129-141.
- ARAGÓN-NORIEGA, E.A. y L.E. Calderón-Aguilera, 2000. Does Damming the Colorado River Affect the Nursery Area of Blue Shrimp *Litopenaeus stylirostris* (Decapoda: Penaeidae) in the Upper Gulf of California?, *Int. J. Tropical Biol. Cons.* 48(4): 867-871.
- ARRIAGA, L., E. Vázquez, J. González, R. Jiménez, E. Muñoz y V. Aguilar (coords.), 1998. *Regiones prioritarias marinas de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- ARRIAGA, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coords.), 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- 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, D.F.
- ARTINGTON, A., R. Naiman, M. McClain y C. Nilsson, 2010. Preserving the Biodiversity and Ecological Services of Rivers: New Challenges and Research Opportunities, *Freshwater Biology* 55: 1-16.
- ÁVILA, G.D.E., 2002. *La migración interna de la población indígena de México, 1995-2000*, El Colegio de la Frontera Norte, Tijuana, Baja California.
- ÁVILA, R., 2004. *La represa Chixoy y los derechos humanos*. Guatemala, Seminario Latinoamericano sobre Transnacionales y Derechos Humanos, xxxv Congreso de la FIDH, Quito, 1 y 2 de marzo de 2004.
- BALBO, M., R. Jordán Fuchs y D. Simioni, 2003. La ciudad inclusiva, *Cuaderno CEPAL 88*, Disponible en: http://biblioteca.cepal.org/record=b1088465-S0*spi
- BALDASSARRE, G.A. y T. Joanan, 1988. Opciones de manejo para limitar los impactos del desarrollo socioeconómico sobre los humedales de Campeche y Tabasco: lecciones aprendidas en Louisiana, In: INIREB-División Regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco, *Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*, Villahermosa, México, pp. 275-284.
- BALL, I.R. y H.P. Possingham, 2000. *MARXAN (v. 1.8.2): Marine Reserve Design Using Spatially Explicit Annealing, a Manual*, The University of Queensland, Brisbane.
- BALVANERA, P., H. Cotler *et al.*, 2009. Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos, In: CONABIO, *Capital Natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, México, pp. 185-245.
- BARG, L., 1996. *Community Participation in Watershed Management*, Inter-American Development Bank, Conference on Strategies in Watershed Management, May 6-7 1996, San José, Costa Rica, pp. 1-17.
- BARRIOS, E., A. Rodríguez y M. de la Maza, 2009. Integrated River Basin Management in the Conchos River Basin, Mexico: A Case Study of Freshwater Climate Change Adaptation, *Climate and Development* (1): 249-260.
- BARKIN, D., (Coord.), 2006. *Introducción. La Gestión del Agua Urbana en México: Retos debates y bienestar*, Universidad de Guadalajara, México.
- BARNETT, T.P. y D.W. Pierce, 2009. Sustainable Water Deliveries from the Colorado River in a

- Changing Climate, *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Disponible en: 10.1073/pnas.0812762106.
- BAUTISTA, F., G. Palacio-Aponte, M. Ortiz-Pérez, E. Batllori-Sampedro y M. Castillo-González, 2005. El origen y el manejo maya de las geoformas, suelos y aguas en la Península de Yucatán, In: F. Bautista y G. Palacio (eds.) *Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*, Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, pp. 21-32.
- BAXTER, R.M., 1977. Environmental Effects of Dams and Impoundments, *Annual Review of Ecology and Systematics* 8: 255-238.
- BECHMAN, M., J. Deelstra, P. Stålnacke, H.O. Eggstad, L. Øygarden y A. Pengerud, 2008. Monitoring Catchment Scale Agricultural Pollution in Norway: Policy Instruments, Implementation of Mitigation Methods and Trends in Nutrients and Sediment Losses, *Environmental Science & Policy* 11: 102-114.
- BELTON, V., 1986. Comparison of the Analytic Hierarchy Process and a Simple Multi-attribute Value Function, *European Journal of Operational Research* 26 (1): 7-21.
- BENASSINI, O., 1972. Aprovechamiento de los ríos internacionales mexicano-guatemaltecos, *Recursos Hidráulicos*, Vol. 1, Núm. 4, pp. 414-427.
- BENÍTEZ, J.A., Gerardo García-Gil, Carlos I. Acuña-Estrada, Claudeth Castro Angulo, 2005a, Estimación de los cambios en la cobertura y biomasa forestal, *Jaina*, volumen especial 32-33, ISSN: 01800-4700.
- BENÍTEZ, J.A., H. Sanvicente Sánchez, J. Lafragua Contreras, P. Zamora Cresencio, L.M. Morales Manilla, J.F. Mas Caussel, G. García Gil, S.A. Couturier, R. Zetina Tapia, R.A. Calan Yam, L. Amabilias Sánchez, C.I. Acuña Estrada y M.C. Mejenes Hernández, 2005b. Reconstrucción histórica de los cambios en la cobertura forestal y su efecto sobre la hidrología y calidad del agua, *Memorias del Congreso Internacional del Agua de la frontera México-Guatemala-Belice, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*, 14 y 15 de noviembre de 2003, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- BENÍTEZ, J.A. y A. Couturier, 2006. Monitoring Long-Term Changes in Flooding and Soil Wetness, and their Effect on the Spatial Distribution of Plants in the Candelaria River Watershed, Southeast Mexico, In: H. Lacost, *Proceedings of Glob Wetland: Looking at Wetlands from Space*, European Space Agency, ESA Publication Division, SP-634.
- BENÍTEZ J., A. Barrientos y G. Mixcóatl, 2008. Relaciones sociales y la modificación de la cobertura forestal en la cuenca media del río Candelaria, Campeche, *Jaina* (18)2: 45-47.
- BENÍTEZ, J.A., D. Samarrón, J. Ben-Arie y Y. Carrillo-Medina (en prensa), Valoración económica de los servicios ambientales del estado de Campeche, In: *Biodiversidad del Estado de Campeche*, EPOMEX Serie Científica, Universidad Autónoma de Campeche, pp. 440-455.
- BERENDES, T., 2003. *Visual Simulation of the Potential Impact of Damming the Usumacinta River*, University of Alabama, Huntsville, Final Project Report, Submitted to World Monuments Fund, May 8, 2003, 11 p.
- BETANCUR, R. y P.W. Willink, 2007. A New Freshwater *Ariid* (Otophysi: Siluriformes) from the Rio Usumacinta Basin, *Copeia*, 2007(4): 818-828.
- BEZAURY-CREEL, J.E. y L.M. Ochoa Ochoa, 2008a. *Base de Datos Geográfica de Predios con Áreas Forestales Permanentes en México, Versión 1.0*, 08/2008, The Nature Conservancy, 2 Capa ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.
- BEZAURY-CREEL, J.E., S. Madrid, L. Bourillón, L.M. Ochoa Ochoa y J.F. Torres, 2008b. *Base de Datos Geográfica de Predios Bajo Manejo Forestal Certificado por el Forest Stewardship Council y Pesquerías Certificadas por el Marine Stewardship Council en México, Versión 1.0*, 08/2008, The Nature Conservancy/Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C./Comunidad y Biodiversidad A.C., 2 Capa ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos Word.
- BEZAURY-CREEL, J.E., R. de la Maza Elvira y L.M. Ochoa Ochoa, 2008c. *Base de Datos Geográfica de las Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación Certificadas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en México, Versión 1.0*, Julio 31, 2008, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy, 2 Capas ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.
- BEZAURY-CREEL, J.E., L.M. Ochoa Ochoa y J.F. Torres, 2008d. *Base de Datos Geográfica de Reservas Privadas y Sociales en México, Versión 1.0*, The Nature Conservancy, 2 Capas ArcGIS 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos en texto.
- BEZAURY-CREEL, J.E., J.F. Torres, L.M. Ochoa Ochoa y Marco Castro Campos, 2009a. *Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Federales de México*, Diciembre 31, 2009, modificado y adaptado de CONANP, 1 Capa ArcGIS 9.2.
- BEZAURY-CREEL, J.E., J.F. Torres, L.M. Ochoa Ochoa, Marco Castro Campos y N. Moreno, 2009b. *Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales, del Distrito Federal y Municipales de México, Versión 2.0*, Julio 31, 2009, The Nature Conservancy/Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2 Capas ArcGIS 9.2 + 2 Capas Goggle Earth KMZ + 1 Archivo de Metadatos Word.
- BLACK, P.E., 1996. *Watershed Hydrology*, Second Edition, Lewis Publisher Boca Raton, Florida, U.S.A...
- BLACK, P.E., 1997. Watershed functions, *Journal of the American Water Resources Association (jwra)* 33(1): 1, U.S.A.
- BLAIKIE, Piers et al., 1996. *Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres*, La Red, ITDG, Colombia.
- BOADI, O.K. y M. Kuitunen, 2005. Childhood Diarrheal Morbidity in the Accra Metropolitan Area, Ghana: Socio-economic, Environmental and Behavioral Risk Determinants, *Journal of Health & Population in Developing Countries*: 2-13. (Disponible en: <https://www.longwoods.com/content/17646>).
- BOEGE, E., 2009. El reto de la conservación de la biodiversidad en los territorios de los pueblos indígenas, In: *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, CONABIO, México, D.F., pp. 603-649.
- BOELEN, R., D. Roth y M. Zwarteveen, 2004. Pluralismo legal, derechos locales y gestión del agua: entre el reconocimiento analítico y la estrategia política, In: F. Peña (ed.), *Los pueblos indígenas y el agua: desafíos del siglo XXI*, El Colegio de San Luis, WALIR, SEMARNAT, IMTA, Bogotá, Colombia, pp. 161-194.
- BONFILS, C., B.D. Santer, D.W. Pierce, H.G. Hidalgo, G. Bala, T. Das, T.P. Barnett, D.R. Cayan, C. Doutriaux, A.W. Wood, A. Mirin y T. Nozawa, 2008. Detection and Attribution of Temperature Changes in the Mountainous Western United States, *Journal of Climate* 21(23): 6404-6424.
- BONHAM-CARTER, G.F., 2002. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS. Computer Methods in the Geosciences*, vol. 13, Pergamon, Kidlington.
- BRADFORD, W., K. Owens, R. Knight y R. Lyons, 2005. Do Woody Plants Affect Streamflow on Semiarid Karst Rangelands?, *Ecological Applications* 15(1): 127-136.
- BRADY, N. y R. Weil, 1999. *The Nature and Properties of Soils*, Prentice Hall.
- BRAVO, L., J. Sánchez y O. Lemus, 2000. Evaluación integral de la cuenca del río Bravo usando un sistema de información geográfica, In: Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (FEMISCA); AIDIS, *Ciencia y conciencia. Compromiso nacional con el medio ambiente: memorias técnicas*. México, pp. 1-20. (Disponible en: www.cepis.org.pe/bvsaidis/saneab/mexicon/R-0193.pdf)
- BRAZDA, A., 1988. Winter Waterfowl Populations and Habitat Evaluation Aerial Surveys East Coast of México, *Flyway Biologist*, United States Fish and Wildlife Service.
- BRUNKE, M. y T. Gonser, 1997. The Ecological Significance of Exchange Processes Between Rivers and Groundwater, Special Review, *Freshwater Biology* 27:1-33.
- BROOKS, K., P. Ffolliott, H. Gregersen y L. DeBano, 1998. *Hydrology and the Management of Watersheds*, 3rd edition, Iowa State University Press.
- BROWN, D.E., 1994. *Biotic Communities, Southwestern United States and Northwestern Mexico*, University of Utah Press.
- BUSCH, D. y S. Smith, 1995. Mechanisms Associated with Decline of Wood Species in Riparian Ecosystems of the Southwestern U.S. *Ecological Monographs* 65: 347-370.
- CABRERA, J. y P. Cuc, 2002. *Diagnóstico socioambiental de la cuenca del río Usumacinta. Proyecto Conflicto Cooperación Ambiental en Cuencas Internacionales Centroamericanas*. Fundación Kukulcan, Fundación Del Servicio Exterior para la Paz y el Desarrollo Democrático, Universidad de Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica, Ciudad de Guatemala.
- CABRERA, J., 2006. *Diagnóstico general y participación comunitaria en la cuenca internacional del*

- río Usumacinta. Guatemala-México, Fundación Kukulkán, Reporte Técnico.
- CAIRNS, M.A., P.K. Haggerty, R. Álvarez, B.H de Jong e I. Olmsted, 2000. Tropical Mexico's Recent Land-Use Change: A Region's Contribution to the Global Carbon Cycle, *Ecological Applications* 10(5): 1426-1441.
- CALDERON-AGUILERA, L.E. y K.W. Flessa, 2009. Just Add Water? Transboundary Colorado River Flow and Ecosystems Services in the Upper Gulf of California, In: López-Hoffman, L., E.D. McGovern, R.G. Varady y K.W. Flessa (eds.), *Conservation of Shared Environments: Learning from the United States and Mexico*, University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- CALDERÓN-AGUILERA, L.E., S.G. Marione y E.A. Aragón-Noriega, 2003. Influence of Oceanographic Processes on the Early Life Stages of the Blue Shrimp (*Litopenaeus stylirostris*) in the Upper Gulf of California, *Journal of Marine Systems* 39: 117-128.
- CALDERÓN-VILLAGÓMEZ, H.E., R. González-Enríquez y C. Durán de Bazúa, 2001. Plaguicidas en sedimentos y organismos acuáticos del lago de Catemaco, Veracruz, México, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 17: 23-26.
- CALVO-FONSECA, A., 2010. *Comparación de las comunidades ícticas del río Hardy y el estuario del río Colorado a través del hidropereodo del 2008*, Tesis de Maestría, Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California.
- CARABIAS, J. y R. Landa, 2005. *Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México*, UNAM, Colegio de México, Fundación Gonzalo Río Arronte, México.
- CARABIAS, J., J. de la Maza, C. Ramírez, S. Rojas, Y. Rodríguez, A. Mohar, J.M. Núñez, G. Quiroz, R. Landa, P. Meli, R. Obregón y G. Hernández, 2008. *Programa para el Manejo de la Cuenca del Río Usumacinta para el Desarrollo Económico con Sustentabilidad Ambiental*, Quercus Consultoría Ecológica, Centro Geo, Natura y Ecosistemas Mexicanos, Conservación Internacional México, USAID/Mexico, Comisión Forestal Sustentable del Estado de Chiapas (COFOSECH), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Comisión Nacional del Agua (CNA), México.
- CARDONA, N., 2004. Definición del área de influencia y análisis de la dinámica socioeconómica de la cuenca Lerma-Chapala, *Gaceta Ecológica* 71, INE-SEMARNAT, México, D.F., pp. 39-53. (Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/433/nayeli.html>).
- CARPENTER, S., N. Caraco, D.L. Correll, R.W. Howarth, A.N. Sharpley y V.H. Smith, 1998. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorous and Nitrogen, *Ecological Society of America, Issues in Ecology* N°3.
- CARR, A. y A.C. de Stoll (eds.), 1999. *Monitoreo biológico en la Selva Maya*, U.S. Man and the Biosphere Program/Tropical Ecosystem Directorate, Wildlife Conservation Society.
- CARREÓN, G. y E. Iñigo (eds.), 1998. *Reporte y estrategia del taller trinacional para la conservación y recuperación de la guacamaya escarlata (Ara macao) en la Selva Maya*, 28 al 30 de septiembre de 1998, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- CARRILLO-GUERRERO, Y., 2002. *Wetland Restoration in Private and Ejido Land in the Colorado River Delta, México*, M.S. Thesis, School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- , 2004. *Valor de los flujos de agua dulce en el delta del río Colorado, Fase 1: Pesquerías, Recreación y Biodiversidad*, Reporte Final presentado al Instituto Nacional de Ecología, Pronatura Noroeste, Dirección de Conservación Sonora.
- , 2009. *Water Conservation, Wetland Restoration and Agriculture in the Colorado River Delta, Mexico*, Ph.D. Dissertation, School of Natural Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona.
- CASCO MONTOYA, R., 1980. *Los planes de desarrollo del trópico: El caso de Balancán-Tenosique, Tabasco*, Centro de Ecodesarrollo, México.
- CASTRO-RUIZ, J.L., P. Ganster, R. Wright, K. Comer, L. Silvan, E. Saxod y W. Zúñiga, 2006. *Más allá de la generación de información para la gestión de cuencas hídricas: La experiencia del Consejo Consultivo de la Cuenca Hídrica Binacional del Río Tijuana*, Ponencia presentada al Border Institute VIII, Rio Rico, Arizona, 22-24 de mayo. (Disponible en: www.scorp.org).
- CASTRO SOTO, G., 2002. *Los megaproyectos hidroeléctricos del PPP ¡Proyectos de represas para Chiapas! (Primera parte)*, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, 12/08/2002, 7 p.
- CASTRO SOTO, G., 2007. *El agua y los ríos amenazados en México: Los retos para el movimiento social anti-represas*, Movimiento Mexicano de Afectados por las Presas y en Defensa de los Ríos (MAPDER), Chiapas, México, 18 p.
- CAZORLA-CLARISÓ, X., 2003. Conflictos en el manejo integrado de los recursos hídricos: la crisis de la gobernabilidad y los usuarios del agua. *Ecología Política. Cuadernos de Debate Internacional* 25: 35-51.
- CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental) 1997. *Ecological Regions of North America: Toward a Common Perspective*, Commission for Environmental Cooperation, Canadá. (Disponible en: www.cec.org/Page.aspPageID=122&ContentID=1329&SiteNodeID=498&BL_Exp andID=).
- CEBALLOS, G., C. Chávez, A. Rivera y C. Manterola, 2002. Tamaño poblacional y conservación del jaguar en la reserva de la biosfera de Calakmul, Campeche, México, In: R. Medellín, C. Equihua, C.B. Chetkiewicz, P.G. Crawshaw Jr., A. Rabinowitz et al. (comps.) *El jaguar en el nuevo milenio*, Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México y Wildlife Conservation Society, México, D.F., pp. 403-417.
- CEBALLOS, G., E. Díaz Pardo, H. Espinosa, O. Flores Villela, A. García, L. Martínez, E. Martínez Meyer, A. Navarro, L. Ochoa e I. Salazar, 2009. Zonas críticas y de alto riesgo para la conservación de la biodiversidad de México, In: *Capital natural de México*, Vol. II: 575-600.
- CERVANTES, M., M.J. Román y E. Mellink, 1999. AICA: NO-17 Delta del río Colorado, en: Benítez, H., C. Arizmendi y L. Márquez, *Base de datos de las AICAS*, CIPAMEX, CONABIO, FMCN y CCA.
- CERVANTES-ZAMORA, Y., Cornejo-Olguín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E. y A. Pineda-Velázquez, 1990. *Provincias Fisiográficas de México, escala 1:4,000,000, extraído de Clasificación de Regiones Naturales de México II*, IV.10.2. *Atlas Nacional de México*. Vol. II. Escala 1:4,000,000. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- CHALLENGER, A., 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro*, CONABIO-Instituto de Ecología -UNAM, Agrupación Sierra Madre, México, D.F.
- CHALLENGER, A., R. Dirzo et al., 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad, In: *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, CONABIO, México, D.F., pp. 37-73.
- CHRISTENSEN, N., y D.P. Lettenmaier, 2006. A Multimodel Ensemble Approach to Assessment of Climate Change Impacts on the Hydrology and Water Resources of the Colorado River Basin, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3: 3727-3770.
- CINTRA-BUENOSTRO, C., K.W. Flessa y G. Ávila-Serrano, 2005. Who Cares About a Vanishing Clam? Trophic Importance of *Mulinia coloradoensis* Inferred from Predatory Damage, *Palaios* 20: 296-302.
- CISNEROS-MATA, M.A., G. Montemayor-López y M. J. Román-Rodríguez, 1995. Life History and Conservation of *Totoaba macdonaldi*, *Conservation Biology* 9: 806-814.
- COCEF, 2009. *Informe anual 2008: Integrando soluciones ambientales para la frontera México-Estados Unidos*, Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, México, 30 p. (Disponible en: www.cocef.org/espanol/VLibrary/AnnualReports/images/COCEF-2008b.png).
- COCHRAN, G.W., 1976. *Técnicas de muestreo*, C.E.C.S.A., México.
- COHEN, M.J. y C. Henges-Jeck, 2001. *Missing Water, The Uses and Flows of Water in the Colorado River Delta Region*, Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, Oakland, California.
- COLL-HURTADO, A. (coord.), 2007. *Nuevo Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- COLLINS, A.L. y G.S. Anthony, 2008. Assessing the Likelihood of Catchments Across England and Wales Meeting 'Good Ecological Status' Due to Sediment Contributions from Agricultural Sources, *Environmental Science & Policy* 11: 163-170.
- COLLINS, A.L. y D.F. McGonigle, 2008. Monitoring and modeling diffuse pollution from agriculture for policy support: UK and European experience, *Environmental Science & Policy* 11: 97-101.
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 1979. *Estudio de gran visión de la cuenca del río Usumacinta*, Gerencia General de Estudios de Ingeniería, México.
- COMISIÓN INTERNACIONAL DE LÍMITES Y AGUAS (CILA) 2006. *Estado del río internacional Suchiate*,

- después del paso del ciclón tropical Stan en octubre de 2005, presentación en Powerpoint.
- COMISIÓN MEXICANA PARA LA COOPERACIÓN CON CENTROAMÉRICA, 1997. *Cooperación México-Centroamérica, Documentos Básicos IV*, Secretaría de Relaciones Exteriores, México, D.F.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA), 1997. *Problemática del Río Colorado*, Gerencia Regional de la Península de Baja California, Mexicali, Baja California.
- , 1999. *Subregiones Hidrológicas escala 1:4,000,000*, Gerencia de Planeación Hidráulica (Subdirección General de Programación), CONAGUA, México, D.F.
- , 2007. *Estadísticas del Agua en México, Edición 2008*. Comisión Nacional de Agua-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.
- , 2007. *Geobase*, Subdirección General de Programación, CONAGUA, México, D.F.
- , 2008. *Estadísticas del agua en México*, Comisión Nacional de Agua-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F.
- , 2008. *El agua en México*, Subdirección General de Programación, CONAGUA, México. (Disponible en: www.emetec-infraestructura.com/Site/AguaenMexico.pdf). (Revisado: 16/07/2009).
- , 2008. *Boletín hidrometeorológico*, Organismo de cuenca península de Yucatán, Dirección Técnica, Jefatura de Proyecto de Aguas Superficiales y Meteorología, Centro Regional de Pronóstico Meteorológico, CONAGUA, México.
- , 2009. *Diagnóstico integral para el manejo sustentable del agua en la cuenca internacional del río Hondo, México-Belice, al año 2025*, informe técnico final, CONAGUA, México.
- , 2010. *Consejos de cuenca y órganos auxiliares instalados*, CONAGUA, México.
- , (en prensa). *Programa de Gestión de la Cuenca del río Hondo: Municipio de Othón Blanco*, Comisión de Cuenca del Río Hondo, Órgano Auxiliar de la Comisión de Cuenca de la Península de Yucatán.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA, 2007a. *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México y Pronatura, A.C., México, D.F.
- CONABIO, CONANP, TNC-PRONATURA y UANL, 2007b. *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, A.C. y Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Autónoma de Nuevo León, México, D.F.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR), 2009. *Base digital vectorial de polígonos de Pago de Servicios Ambientales Hidrológicos (2003 a 2008)*, CONAFOR, México.
- , 2009. *Servicios Ambientales: SAB en México*. Con información actualizada a 06/10/2009. http://www.conafor.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=360&Itemid=477 (consultada: 13/04/2010).
- , 2006. *Protección, restauración y conservación de suelos forestales*, Manual de obras y prácticas, CONAFOR, México.
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO), 2009. *Síntesis capital natural de México. Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*, CONABIO, México, D.F.
- , s/f. 42. *Río Bravo Internacional*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. (Disponible en: www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_042.html). (Consultada 01/07/2010).
- , 2008. *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- , 2009. *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- , 2009. *Reporte técnico del modelo prototipo de impactos a la biodiversidad mexicana, MEXBIO*, elaborado por Melanie Kolb, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, D.F.
- , 2008. *Distribución de manglares en México Escala 1:50,000*, México, extraído del proyecto DQ056: J. Acosta-Velázquez y M.T. Rodríguez-Zúñiga, 2007, *Programa de monitoreo de los manglares de México a largo plazo: primera etapa*, CONABIO, México.
- COMITÉ DE CUENCA DEL RÍO COATÁN, 2008. *Acta de la Primera Sesión Extraordinaria*, Tapachula, 16 de julio.
- , 2009. *Acta de la Quinta Sesión Ordinaria*, Tapachula, 28 de agosto.
- COMITÉ INTERSECRETARIAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2006. *México Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, INE-SEMARNAT, México. http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html-id_pub=489
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP), 2007. *Plan de Conservación y Manejo de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, D.F.
- , 2009. *Base de Datos Geográfica con la Cobertura de los 123 Sitios RAMSAR de México al 31/07/2009*, 1 Capa ArcGIS en <http://www.conanp.gob.mx/sig/informacion/info.htm> (descargada: 14/04/2010).
- COMPAN, E., 1956. *Así es la cuenca del río Usumacinta o mono sagrado*, Compañía Editora Tabasqueña, Villahermosa, Tabasco.
- COMITÉ DE CUENCA DEL RÍO COATÁN (2008), *Acta de la Primera Sesión Extraordinaria*, Tapachula, 16 de julio.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA-FCF-UANL, 2007. *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: Espacios y especies*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, A.C., Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- CONABIO-CONANP, (in prep.). *Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad de aguas epicontinentales de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México.
- CONDE, D.A., I. Burgués, L. Fleck, C. Manterola y J. Reid, 2007. *Análisis ambiental y económico de proyectos carreteros en la Selva Maya: Un estudio a escala regional*, Conservation Strategy Fund, Conservación Estratégica, Serie Técnica N° 9, Mayo de 2007, 88 p.
- CONLEY, D.J., C. Humborg, L. Rahm, O.P. Savchuk y F. Wulff, 2002. Hypoxia in the Baltic Sea and Basin-Scale Changes in Phosphorus Biogeochemistry, *Environmental Science & Technology* 36 (24): 5315-5320.
- CONLEY, D.J., E. Bonsdorff, J. Carstensen, G. Destuoni, B.G. Gustafsson, L. Hanson, N. Rabalais, M. Voss y L. Zillen 2009. Tackling Hypoxia in the Baltic Sea: Is Engineering a Solution?, *Environ. Sci. Technol.* 43: 3407-3411.
- CONSEJO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS, 1999. *Sistema de Monitoreo y Evaluación en Unidades de Manejo, Zona de Uso Múltiple, Reserva de la Biosfera Maya*, Petén, Guatemala.
- , 2009. *Conservación de la biodiversidad en las aguas interiores de Guatemala: Análisis de vacíos*, The Nature Conservancy, Guatemala.
- CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN (CONAPO), 1995. Anexo Metodológico A, In: *Indicadores socioeconómicos e Índice de marginación municipal 1990*, CONAPO, México.
- , (comps.), 2001. *Migración interna en México. La población de México en el nuevo siglo*, CONAPO, México, pp. 95-102.
- , 2007. *Índice de marginación a nivel localidad 2005*, CONAPO, México.
- , 2007. *Delimitación de las zonas metropolitanas 2005*, SEDESOL, CONAPO, INEGI, México.
- , 2009. *25 Indicadores demográficos básicos 1990-2030 de las 32 entidades federativas*, CONAPO, México.
- , 2008. *Proyecciones de la población de México, de las entidades federativas, de los municipios y de las localidades 2005-2050*. (Disponible en: www.conapo.gob.mx).
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). *Proyecciones de Población 2005-2030*, www.conapo.gob.mx (revisado: 16/07/2009).
- CONSEJO DE CUENCA DEL RÍO COATZACOALCOS. <http://www.cuencacoatza.org/tucuenca.php-content=disponibilidad> (revisado: 17/03/2010).
- CONTRERAS-BALDERAS, S. y L. Lozano, 1996. Extinction of Most Sandia and Potosí Valleys (Nuevo León México) Endemic Pupfishes, Crayfishes and Snails, *Ichthyol. Explor. Freshwaters* 7(1): 33.40.
- CONTRERAS-BALDERAS, S., 2005. Conservation Status of Mexican Freshwater Viviparous Fishes, In: M. Uribe and H. Gierr (eds.),

- Viviparous Fishes*, New Life Publications.
- CONTRERAS, F. y O. Castañeda, 2004. Las lagunas costeras y estuarios del Golfo de México: hacia el establecimiento de índices ecológicos, In: M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, México, pp. 373-416.
- CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS, 1917. Artículo 115.
- CORZO, A.R., 2003. *Proyectos de Desarrollo y Conservación en el Departamento de El Petén, Guatemala, Centroamérica*, Fundación ProPetén, Centro Universitario de El Petén, USAC, Guatemala.
- COTLER, H., M. Mazari y J. De Anda (comps.), 2006. *Atlas de la cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta*. Instituto Nacional de Ecología. México.
- COTLER, H., E. Sotelo, J. Dominguez, M. Zorrilla, S. Cortina y L. Quiñones, 2007. La conservación de suelos: un asunto de interés público, *Gaceta Ecológica* 83: 1-70.
- COTLER, H. y R. Pineda, 2008. Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos? *Archivo Histórico del Agua* 39: 16-21. http://archivohistoricodelagua.info/mx/component/option,com_docman/Itemid,43/
- COTLER, H y G. Caire, 2009. *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*, Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Fundación Gonzalo Río Arronte, IAP, WWF, Organización Mundial de Conservación, México.
- COTLER, H., S. Martínez-Trinidad, 2010. An Assessment of Soil Erosion Costs in Mexico, In: Zdruli P. et al. (eds.) *Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation*, Springer Science, Berlin, pp. 639-648.
- CÓRDOBA, A. y C.A. de la Parra (eds.), 2007. A Barrier to our Shared Environment. *The Border Fence Between the United States and Mexico*, INE-SEMARNAT, COLEF, SCERP, México, D.F.
- CÓRDOVA ÁVALOS, A., 2007. *Desarrollo de un Índice de Integridad Biológica Avifaunícola para los Humedales de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco*, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.
- COUTURIER, S., J.F. Mas, E. López, J.A. Benítez, V. Coria-Tapia y A. Vega-Guzmán, 2010. Accuracy Assessment of the Mexican National Forest Inventory Map: a Study in Four Eco-Geographical Areas, *Singapore Journal of Tropical Geography* 31(2): 163-179.
- COWELL, P.J., B.G. Thom, R.A. Jones, C.H. Everts y D. Simanovic, 2006. Management of Uncertainty in Predicting Climate-Change Impacts on Beaches, *J. Coastal Research* 22(1): 232-245.
- CRUZ, A., R. Florido, A. Contreras y A.J. Sánchez, 2003. Registro del caracol exótico *Thiara (Melanoides) tuberculata* (Müller, 1774) (Gastropoda: Thiaridae) en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, *Universidad y Ciencia*, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 19(38): 101-103.
- CUARÓN, A., I.J. March y P.M. Rockstroh, 1989. A Second Armadillo (*Cabassous centralis*) for the Faunas of Guatemala and Mexico, *Journal of Mammalogy* 70(4): 870-871.
- CUEVAS, M.L., A. Garrido y E. Sotelo, 2008. Regionalización de las cuencas hidrográficas de México, INE-SEMARNAT, obra derivada de INEGI-INE-CONAGUA, 2007, *Mapa de cuencas hidrográficas de México (escala 1:250,000)*, In: http://mapas.ine.gov.mx/website/mediofisico/hidrologia/cuencas-hidrograficas/regionalizacion_cuencas_mexico.html
- DALENIUS, T. y J.L. Hodges, 1959. Minimum Variance Stratification, *Journal of American Statistical Association* 54: 88-101.
- DAVENPORT, T.E., 2003. *The Watershed Project Management Guide*, Lewis Publishers, Library of the Congress, United States of America.
- DAY, J., J.F. Martin, L. Cordoch y P.H. Temple, 1997. System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems. *Coastal Management* 25:115-153.
- DAY, J., P. Tamplet, J.Y. Ko, W. Mitsch, G.P. Kemp, J. Johnston, G. Styer, J. Barras, J. Dubravko, E. Clairain y R. Theriot, 2004. El delta del Mississippi: funcionamiento del sistema, impactos ambientales y manejo sustentable, In: M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.) *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies. México, pp. 851-882.
- DDRMA-OEA, 1993. *Manual sobre el manejo de peligros naturales en la planificación para el desarrollo regional integrado*, Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente, Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Organización de Estados Americanos. Washington, D.C.
- DE ABREU AZEVEDO, E., L. Heller y D.F. de Rezende, 2005. Diarrea infantil y abastecimiento de agua y cloaca en un asentamiento de una metrópolis latinoamericana: El caso de Belo Horizonte, Brasil, *Medio Ambiente y Urbanización* 62(1-2): 93-105.
- DEAN, D.J., 2009. *A River Transformed: Historic Geomorphic Changes of the Lower Rio Grande in the Big Bend Region of Texas, Chihuahua, and Coahuila*, M.S. Thesis, Utah State University, Logan.
- DEAN, D.J. y J.C. Schmidt, 2010. The Role of Feedback Mechanisms in Historic Channel Changes of the Lower Rio Grande in the Big Bend Region, *Geomorphology* (en prensa), doi:10.1016/j.geomorph.2010.03.009
- DE BY, R., R. Knippers, M. Weir, Y. Georgiadou, M. Kraak, Van Weesten y Y. Sun, 2004. *Principles of Geographical Information Systems*, International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.
- DECLARACIÓN DE BUENOS AIRES, 1996. *Recomendaciones del Segundo Diálogo Interamericano sobre Administración de Aguas*, Buenos Aires, Argentina, 1° al 6 de septiembre de 1996.
- DECLARACIÓN DE MIAMI, 1993. *Resoluciones y Conclusiones del Primer Diálogo Interamericano sobre Administración de Aguas*, Miami, Florida, octubre de 1993.
- DEFRA, 2007. *Impact of proposed NVZ Action Programme measures*, ADAS report to DEFRA-supporting paper d5 for the consultation on implementation of the Nitrates Directive in England, 31p. <http://www.defra.gov.uk/environment/quality/water/waterquality/diffuse/nitrate/documents/consultation-supportdocs/d5-impacts-revised-nvzap.pdf> (consultado: 12/01/2010).
- DE JONG, B.H.J., A. Hellier, M.A. Castillo-Santiago y R. Tipper, 2005a. Application of the 'Climafor' Approach to Estimate Baseline Carbon Emissions of a Forest Conservation Project in the Selva Lacandona, Chiapas, Mexico, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 10: 265-278.
- DE JONG, B.H.J., M.A. Castillo, O. Masera y A. Flamenco, 2005b. *Dinámica de cambio de uso del suelo y emisiones de carbono en el trópico húmedo de México: Resultados finales del análisis de cambio de uso entre 1975 y 2000 Selva Lacandona y El Ocote*, informe final, INE, 33 p.
- DELGADO, J. y D.R. Villareal, 1991. *Cambios territoriales en México: Exploraciones recientes*, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Departamento de Teoría y Análisis, México, D.F.
- DELGADO, G.C., 2005. Plan Puebla Panamá, Hidroelectricidad y Medio Ambiente, *El Cotidiano*, UAM-Azcapotzalco, México, 19(123): 100-109.
- DE VENTE, J., J. Poesen y G. Verstraeten, 2005. The Application of Semi-Quantitative Methods and Reservoir Sedimentation Rates for the Prediction of Basin Sediment Yield in Spain, *Journal of Hydrology* 305: 63-86.
- DE VENTE, J., J. Poesen, G. Verstraeten, A. Van Rompaey y G. Govers, 2008. Spatially Distributed Modelling of Soil Erosion and Sediment Yield at Regional Scales in Spain, *Global and Planetary Change* 60: 393-415.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF), 2008. *Ley de Aguas Nacionales*, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1° de diciembre de 1992, Última reforma publicada DOF 18-04-2008. México
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2008. *Decreto por el que se declara área natural protegida con la categoría de área de protección de flora y fauna, la región conocida como Cañón del Usumacinta, localizada en el Municipio de Tenosique, en el Estado de Tabasco*, Estados Unidos Mexicanos, 22 de septiembre de 2008.
- DIAZ, R. J. y R. Rosenberg, 1995. Marine Benthic Hypoxia: A Review of its Ecological Effects and the Behavioural Responses of Benthic Macrofauna, *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review* 33: 245-303.
- DÍAZ-GALLEGOS, J., O. Castillo y G. García-Gil, 2002. Distribución espacial y estructura arbórea de la Selva Baja Subperennifolia en un ejido de la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México, *Universidad y Ciencia* 18 (35): 11-28.
- DINERSTEIN, E., D. Olson, J. Atchley, C. Loucks, S. Contreras-Balderas, R. Abell, E. Iñigo, E. Enkerlin, C.E. Williams y G. Castilleja (eds.), 2000. *Ecoregion-Based Conservation in the Chihuahuan Desert: A Biological Assessment*, World Wildlife Fund, CONABIO, The Nature

- Conservancy, PRONATURA Noreste, ITESM. (Disponible en: www.worldwildlife.org/wildplacces/cd/pubs/bioassess.pdf).
- DIRZO, R., A. Aguirre y J.C. López, 2009. Diversidad florística de las selvas húmedas en paisajes antropizados, *Investigación Ambiental* 1: 17-22.
- DONIGIAN, A. y L. Mulkey, 1992. Stream, an Exposure Assessment Methodology for Agricultural Pesticide Runoff, In: J.L. Schnoor (ed.), *Fate of Pesticides and Chemicals in the Environment*, John Wiley & Sons, pp. 297-330.
- DOPPELT, B., M. Scurlock, C. Frissell y J. Karr, 1993. *Entering the Watershed: A New Approach to Save America's River Ecosystems*, The Pacific Rivers Council, Washington, D.C., Covelo, California.
- DOUROJEANNI, A., A. Jouravlev y G. Chávez, 2002. *Gestión del agua a nivel de cuencas: Teoría y práctica*, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- DOUROJEANNI, A. y A. Jouravlev, 2002. *Evolución de políticas hídricas en América Latina y el Caribe*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), LC/L. 1826-P., diciembre de 2002, Serie Recursos Naturales e Infraestructura No. 51, Santiago de Chile.
- DUGAN, P., 1988. Esquema para una estrategia de acción para los humedales de América Latina y el Caribe, In: INIREB-División Regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco, *Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*, Villahermosa, México, pp. 373-382.
- DURÁN, E., J.F. Mas y A. Velázquez, 2007. Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México, In: D.B. Bray, L. Merino-Pérez y D. Barry (eds.), *Los Bosques Comunitarios de México. Manejo Sustentable de Paisajes Forestales*, INESEMARNAT, México, pp. 267-302.
- DYSON, M., G. Bergkamp y J. Scanlon (eds.), 2003. *Flow. The Essentials of Environmental Flows*, IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, United Kingdom.
- DYNESIUS, M. y N. Christer, 1994. Fragmentations and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World, *Science* 266: 753-762.
- EHRlich, P y A.H. Ehrlich, 1975. *Población, recursos, medio ambiente*, Ediciones Omega, S.A, Barcelona.
- EHUÁN SEGOVIA, M., J.A. Benítez, G. Villalobos, 2005. Variaciones nictimerales de la producción primaria, en el Sistema fluvio-lagunar Panlao, a lo largo de un ciclo anual, *Jaina*, volumen especial 14-15: 38-39.
- EL COLEGIO DE LA FRONTERA SUR, 1996. *Memoria de la mesa redonda Situación y perspectivas de desarrollo sustentable en la gran cuenca del Río Usumacinta*, 25 y 26 de julio 1996. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- EL-GILANY, A.H., S. Hammad, 2005. Epidemiology of Diarrheal Diseases Among Children Under Age 5 Years in Dakahlia, Egypt, *East Mediterranean Health Journal* 11(4): 762-775.
- ELÍAS, S., Gellert, G., Pape, E. y E. Reyes, 1997. *Evaluación de la Sostenibilidad: El caso de Guatemala*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) Programa Guatemala-World Wildlife Fund (WWF). Serie Fortaleciendo las perspectivas para el desarrollo sostenible en Centroamérica, Guatemala, Centroamérica.
- ESCOBAR, R., 2008. Historia del rancho experimental La Campana, In: A. Chávez Silva, (ed.), *Rancho experimental la Campana. 50 años de investigación y transferencia de tecnología en pastizales y producción animal*, INIFAP, libro técnico N° 2, Capítulo 1: 3, México.
- ESCOBAR, E., M. Maass et al., 2008. Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas, In: *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*, CONABIO, México, D.F., pp. 161-189.
- ESPEJEL, I., A. Hernández, H. Rieman y L. Hernández, 2005. Propuesta para un nuevo municipio con base en las cuencas hidrográficas. Estudio de caso: San Quintín, B.C., *Gestión y Política Pública*, Vol. XIV número 1. CIDE, México, D.F., pp. 129-168.
- ESPINOSA, H., P. Fuentes, M. Gaspar y V. Arenas, 1993. Notes on Mexican Ichthyofauna, In: T. Ramamoorthy, A. Lot and J. Fa. (eds.), *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, Oxford University Press.
- ESTRADA, A., L. Luecke, S. van Belle, E. Barrueta y M.R. Meda, 2004. Survey of Black Howler (*Alouatta pigra*) and Spider (*Ateles geoffroyi*) Monkeys in the Mayan Sites of Calakmul and Yaxchilán, México and Tikal, Guatemala, *Primates* 45: 33-39.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2008. *CSI-024 Urban Wastewater Treatment*. www.eea.europa.eu (revisado: 18/05/2010).
- EUROPEAN FEDERATION OF NATIONAL ASSOCIATIONS OF WATER AND WASTEWATER SERVICES (EUREAU), 2008. *Statistics Overview on Water and Wastewater in Europe*. www.eureau.org (revisado: 18/05/2010).
- FIGUEROA, F., V. Sánchez-Cordero, 2008. Effectiveness of Natural Protected Areas to Prevent Land Use and Land Cover Change in Mexico, *Biodiversity Conservation* 17: 3223-3240.
- FONDO DE POBLACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (FPNU), 2001. *Huellas e hitos: Población y cambio del ambiente*, UNFPA, Estados Unidos.
- FORMAN, R.T.T. y M. Godron, 1986. *Landscape Ecology*, John Wiley & Sons, New York.
- FRANKLIN, J.F., 1992. Scientific Basis for New Perspectives in Forest and Streams, In: R.J. Naiman (ed.), *Watershed Management. Balancing Sustainability and Environmental Change*, Springer-Verlag, New York, pp. 25-72.
- FROEBEL, J., 1852. Siete años de viaje en Centroamérica, norte de México y lejano oeste de Estados Unidos, In: J. Vargas (ed.), *Viajantes por Chihuahua (1846-1853)*, Gobierno del Estado de Chihuahua, 2002.
- GALINDO ALCÁNTARA, A., L. Gama, C. Zequeira, E. Sánchez, C. Rullán, E. Moguel, M.E. Valdez, A. Morales, A. y S. del C. Ruiz, 2007. *Identificación, delimitación y caracterización de las microcuencas del río Usumacinta en el estado de Tabasco*, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 7 p.
- GALINDO-BECT, M., E. Glenn, H. Page, K. Fitzsimmons, L. Galindo-Bect, J. Hernández-Ayon y R. Petty, 2000. Penaeid Shrimp Landings in the Upper Gulf of California in Relation to Colorado River Freshwater Discharge, *Fishery Bulletin* 98: 222-225.
- GALINDO-LEAL, C., 1999. *La gran región de Calakmul: Prioridades biológicas de conservación y propuesta de modificación de la Reserva de la Biosfera*. Reporte Final a World Wildlife Fund-México, México, D.F., 40 p.
- GANSTER, P., 2005. Transborder Management for the Tijuana River Watershed, *Southwest Hydrology*, septiembre/octubre: 28-29.
- GARCÍA, E., 2007. Los límites desbordados: sustentabilidad y decrecimiento, *Trayectorias*, año IX, número 24, mayo-agosto: 7-19.
- GARCÍA, J., O. Hinojosa-Huerta, E.P. Glenn, D.J. Baumgartner, S. DeStefano y W.W. Shaw, 1999. *Impacts of a Salinity Increase in the Bypass Drain (MODE) on the Ecology of the Cienega de Santa Clara Wetland*, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Yuma Area Office.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, J., E.P. Glenn, J. Artiola y D.J. Baumgartner, 2000. Bioaccumulation of selenium (Se) in the Cienega de Santa Clara Wetland, Sonora, Mexico, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 46: 298-304.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, J., K.A. King, A.L. Velasco, E. Shumilin, M.A. Mora y E.P. Glenn, 2001. Selenium, Selected Inorganic Elements, and Organochlorine Pesticides in Bottom Material and Biota from the Colorado River Delta, *Journal of Arid Environments* 49: 65-89.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, J., Y.V. Sapozhnikova, D. Schlenk, A.Z. Mason, O. Hinojosa-Huerta, J.J. Rivera-Díaz, N.A. Ramos-Delgado y G. Sánchez-Bon, 2006. Concentration of Contaminants in Breeding Bird Eggs from the Colorado River Delta, Mexico, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25: 164-167.
- GARCÍA-GIL, G., J.L. Palacio y M.A. Ortiz, 2002. Reconocimiento geomorfológico e hidrográfico de la Reserva de la Biosfera Calakmul, México, *Investigaciones Geográficas* 48: 7-23, Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM, México.
- GARCÍA-GIL, G. y J. Pat, 2001. Apropiación del espacio y colonización de la selva en la Reserva de la Biosfera Calakmul, Campeche, *Revista Mexicana del Caribe*, año v, 10: 212-231.
- García-Mendoza, A.J., M.J. Ordóñez y M. Briones-Salas (eds.), 2004. *Biodiversidad de Oaxaca*, Instituto de Biología-UNAM, Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza y World Wildlife Fund, México, D.F.
- GARRIDO, A., E. Sotelo, H. Cotler, M.L. Cuevas, F. Flores, C. Enríquez, K. Ruiz y N. Luna, 2007. Hacia el diagnóstico socio-ambiental de las cuencas de México: Una propuesta conceptual y metodológica, In: *Memorias del Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*, 19-21 de septiembre. Querétaro, México. (Disponible en: http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_03/03_arturo_garrido.pdf).
- GARRIDO, A., C. Enríquez, J.L. Pérez, N. Luna y O. Sánchez. 2009. *Zonas Funcionales de las Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250,000. Conjunto de datos vectoriales y meta-*

- datos, INE, México, D.F. (http://mapas.ine.gob.mx/website/mediofisico/hidrologia/cuencas-hidrograficas/cuenal_zonalt.html)
- GARRIDO, A., M.L. Cuevas, H. Cotler, D.I. González y R. Tharme, 2010. Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación ambiental, Ciencia y política pública* 2(1): 25-46, Instituto Nacional de Ecología. (Disponible en: www.revista.ine.gob.mx).
- GARCÍA FERIA, L.M., 2009. *Un enfoque filogeográfico para la conservación de poblaciones de Aramaeocyanoptera*, Tesis Doctorado en Ecología y Manejo de Recursos Naturales, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México.
- GARDINER, John L. (ed.), 1991. *River Projects and Conservation. A Manual for Holistic Appraisal*, John Wiley & Sons, New York.
- GATES, M., 1993. *In Default: Peasants, the Debt Crisis, and the Agricultural Challenge in Mexico*, Westview Press, Boulder, Colorado.
- GEORGE, P., 2004. *Diccionario de Geografía*, Ediciones Akal, S.A., Madrid, España.
- GERSBERG, R.M., C. Brown, V. Zambrano, K. Worthington y D. Weis, 2000. Quality of Urban Runoff in the Tijuana River Watershed, In: Paul Westerhoff (ed.), *The U.S.-Mexican Border Environment: Water Issues along the U.S.-Mexican Border*, San Diego: SDSU Press y SCERP. (disponible en: <http://scerp.org/pubs/mono2.htm>).
- GLENN, E.P., R. Felger, A. Búrquez y D. Turner, 1992. Ciénega de Santa Clara: Endangered Wetland in the Colorado River Delta, Sonora, Mexico, *Natural Resources Journal* 32: 817-824.
- GLENN, E.P., K. Hucklebridge, O. Hinojosa-Huerta, P.L. Nagler y J. Pitt, 2008. Reconciling Environmental and Flood Control Goals on an Arid-Zone River: Case Study of the Limitrophe Region of the Lower Colorado River in the United States and Mexico, *Environmental Management* 41: 322-335.
- GLENN, E.P., C. Lee, R. Felger y S. Zengel, 1996. Effects of Water Management on the Wetlands of the Colorado River Delta, Mexico, *Conservation Biology* 10: 1175-1186.
- GLENN, E.P., F. Zamora-Arroyo, P.L. Nagler, M. Briggs, W. Shaw y K. Flessa, 2001. Ecology and Conservation Biology of the Colorado River Delta, Mexico, *Journal of Arid Environments* 49: 5-15.
- GOLDEN, C. y A. Scherer, 2006. Border Problems: Recent Archaeological Research Along the Usumacinta River, *The PARI Journal* VII (2): 1-16.
- GÓMEZ DELGADO, M. y J. Barredo, 2006. *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio*, Alfaomega-Ra-Ma, México.
- GÓMEZ-SAPIENS, M.M. y E. Soto-Montoya, 2006. *Programa de monitoreo de aves playeras en humedales prioritarios de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del río Colorado. Informe Final*, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, San Luis Río Colorado, Sonora.
- GONZÁLEZ, S., 2007. Contaminación difusa de las aguas, *Tierra Adentro*: 1-5. <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR34773.pdf>
- GONZÁLEZ, M.A., S. Anta, Y. Lara, J. Bezaury-Creel, F. Martínez y L.M. Ochoa Ochoa, 2008. *Base de Datos Geográfica de Núcleos Agrarios con Ordenamiento Comunitario del Territorio en México, Versión 2.0*. Grupo Autónomo para la Investigación Ambiental A.C. (GAIA), Estudios Rurales y Asesoría A.C. (ERA), Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C. (CCMSS), The Nature Conservancy, Iniciativa Ambiental Cuencas: USAID, CI, FMCN, PRONATURA A.C., TNC, WWF, 2 capas ArcGis 9.2 + 1 Capa Google Earth KMZ + 1 Capa de metadatos en texto.
- GORI, D.F. y C.A.F. Enquist, 2003. *An Assessment of the Spatial Extent and Condition of Grasslands in Central and Southern Arizona, Southwestern New Mexico and Northern Mexico*, The Nature Conservancy, Arizona Chapter, 28 p.
- GRAEDEL, T.E. y B.R. Allenby, 1995. *Industrial Ecology*, Prentice Hall, New Jersey.
- GRAHAM, A., 2003. In the Beginning: Early Events in the Development of Mesoamerica and the Lowland Maya Area In: A. Gómez-Pompa, M.F. Allen, S.L. Fedick y J. Jiménez-Osornio (eds.), *The Lowland Maya Area; Three Millennia at the Human-Wildland Interface*, Food Products Press, New York, pp. 31-44.
- GRIGG, N.S., Fellow, ASCE, 1996. Management Framework for Large-Scale Water Problems, *Journal of Water Resources Planning and Management* Vol. 122, N° 4: 296-299.
- GRINNELL, J., 1928. A Distributional Summation of the Ornithology of Lower California, *University of California Publications in Zoology* 32: 1-300.
- GUATEAGUA, 2007. Disponible en <http://guateagua.org.gt>
- GUILLÉN-TRUJILLO, H.A., 1995. *An Overview of the Usumacinta River Basin Potentials and Conflicts*, University of Florida, Gainesville, October 9..
- HAIR, J.F. y R.E. Anderson, 1999. *Análisis multivariante*, Prentice Hall Iberia, Madrid.
- HAMANN, R. y T. Ankersen, 1996. *The Usumacinta River: Building a Framework for Cooperation Between Mexico and Guatemala*, Mesoamerican Environmental Law Program, Center for Governmental Responsibility, University of Florida College of Law, 21 p.
- HANSON, B.R. y T.J. Trout, 2001. Irrigated Agriculture and Water Quality Impacts, In: W. Ritter y A. Shirmohammadi (eds.), *Agricultural Nonpoint Source Pollution*, Lewis Publishers, pp. 169-206.
- HARC e ITESM, 2000. *Water and Sustainable Development in the Binational Lower Río Grande/Río Bravo Basin*, Final Report, The Houston Advanced Research Center (HARC) and the Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).
- HATT, L.E. y H.R. Waters, 2005. Determinants of Child Morbidity in Latin America: A Pooled Analysis of Interactions Between Parental Education and Economic Status, *Soc. Sci. Med.* 62: 375-386.
- HERNÁNDEZ, E., 2004. *Desarrollo demográfico y económico de México, 1970-2000-2030*, Serie Metas Milenio, CONAPO, México.
- HERNÁNDEZ-AYÓN, J.M., M.S. Galindo-Bect, B.P. Flores-Báez y S. Álvarez-Borrego, 2002. Nutrient Concentrations are High in the Turbid Waters of the Colorado River Delta, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 37: 593-602.
- HERRERA-SILVEIRO, J.A., C.N. Aranda, G.L. Troccoli A.F. Comín y C. Madden, 2004. Eutrofización costera en la península de Yucatán, In: M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Vol. II, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 823-850.
- HINOJOSA-HUERTA, O., M. Briggs, Y. Carrillo-Guerrero, E.P. Glenn, M. Lara-Flores y M. Roman, 2005. Community-Based Restoration of Desert Wetlands: the Case of the Colorado River Delta, *Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference*, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191.
- HINOJOSA-HUERTA, O., S. DeStefano y W. Shaw, 2001. Abundance and Distribution of the Yuma Clapper Rail (*Rallus longirostris yumanensis*) in the Colorado River Delta, Mexico, *Journal of Arid Environments* 49: 171-182.
- HINOJOSA-HUERTA O., J. García-Hernández, Y. Carrillo-Guerrero y E. Zamora-Hernández, 2007. Hovering Over the Alto Golfo: the Status and Conservation of Birds from the Río Colorado to the Gran Desierto, In: R.S. Felger, y B. Broyles (eds.), *Dry Borders: Great Natural Reserves of the Sonoran Desert*, Salt Lake City, Utah, University of Utah Press, pp. 383-407.
- HINOJOSA-HUERTA, O., H. Iturribarría-Rojas, E. Zamora-Hernández y A. Calvo-Fonseca, 2008. Densities, Species Richness and Habitat Relationships of the Avian Community in the Colorado River, Mexico, *Studies in Avian Biology* 37: 74-82.
- HINOJOSA-HUERTA, O., J.J. Rivera-Díaz, H. Iturribarría-Rojas y A. Calvo-Fonseca, 2008. Population Trends of Yuma Clapper Rails in the Colorado River Delta, Mexico, *Studies in Avian Biology* 37: 69-73.
- HINOJOSA-HUERTA, O., P.L. Nagler, Y. Carrillo-Guerrero, E. Zamora-Hernández, J. García-Hernández, F. Zamora-Arroyo, K. Gillon y E.P. Glenn, 2002. Andrade Mesa Wetlands of the All-American Canal, *Natural Resources Journal* 42: 899-914.
- IBARRA, V., S. Puente y M. Schteingart, 1984. *La ciudad y el medio ambiente. Demografía y Economía*, Vol. XVIII, N° 1(57): 110-143, El Colegio de México, México.
- IBWC/CILA, 2004. *Third Phase of the Binational Study Regarding the Presence of Toxic Substances in the Upper Portion of the Rio Grande/Rio Bravo Between the United States and Mexico*. International Boundary Waters Commission/Comisión Internacional de Límites y Aguas. www.ibwc.state.gov/PAO/CUR-PRESS/2004/RGToxicStudy.pdf
- IBWC, 2010. *Rio Grande Flow/Reservoir conditions*. www.ibwc.state.gov/wad/flowdata.htm (consultado: 04/06/2010).
- INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES, A.C., 1976. *Décima novena serie de Mesas redondas: Desarrollo de la Cuenca Grijalva Usumacinta*, Realizado en el Anfiteatro del IMSS,

- Villahermosa, Tabasco, del 17 al 21 de mayo, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión del Río Grijalva, México, D.F.
- INIREB, 1988. *Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*, Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, División Regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco, México.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE), 1996. *Mapa de peligros geológicos y geomorfológicos de México*, INE, México.
- , 2003. *Red de drenaje superficial ampliada escala 1:250,000, generada a partir de la Red de Drenaje INEGI (1996)*, INE, México, D.F.
- , 2007. *Pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo y para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del Sistema: Cambio climático por Estado y por Sector*, estudio desarrollado por V. Magaña y E. Caetano, del Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, para el Instituto Nacional de Ecología. (Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/2007o.pdf>)
- , 2009. *México. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, INE-SEMARNAT, México. www.ine.gob.mx
- , 2009a. *Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas*, INE-SEMARNAT, México.
- , 2009b. *Cambio climático y recursos hídricos: Desarrollo de una política nacional de investigación y desarrollo tecnológico*, estudio desarrollado por B. Jiménez, del Instituto de Ingeniería de la UNAM, para el Instituto Nacional de Ecología. (Disponible en: http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/agua_y_cc_jimenez-2009_ine.pdf)
- INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACIÓN (INDE), 1992. *Calibración del modelo de cálculo para el estudio del remanso tramo Boca del Cerro-La Línea, estudio hidroeléctrico del Usumacinta*, Guatemala.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), 1976. *Conjunto de datos vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000 Serie I (continuo nacional)*, Aguascalientes, México.
- , 1983. *Carta Edafológica 1:250,000*, INEGI, México.
- , 1991. *El ABC de las cuentas nacionales*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 1993. *ABC Sistema de Cuentas Nacionales de México. Cuentas por sectores institucionales*, INEGI, México.
- , 1995. *Espaciomaps*, publicados con imágenes Landsat (122cartas), INEGI, México.
- , 1999. *Metodología de los Censos Económicos*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2001. *Indicadores Sociodemográficos de México (1930-2000)*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2001. *Marco Geoestadístico Municipal 2000*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2001. *Niveles de Bienestar en México*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2001. *XII Censo de Población y Vivienda 2000. Tabulados básicos por localidad*, INEGI, Aguascalientes, México.
- , 2002. *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2002. *El ABC de los indicadores de la productividad*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2004. *Censo Económico 2004*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2004. *Metodología de los Censos Económicos*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2004. *Sistema Automatizado de Información Censal (SAIC 5.0)*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2005. *2° Censo de Población y Vivienda, 2005*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2007. *VIII Censo Agrícola, ganadero y forestal*, INEGI, México. www.inegi.org.mx.
- , 2007. *Sistema para la Consulta del Cuaderno Estadístico Municipal, Candelaria, Campeche*, INEGI, México.
- , 2008. *Estadísticas a propósito del día mundial del agua*, INEGI, México. www.inegi.org.mx
- , 2009. *Conjunto de datos vectoriales de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Escala 1:250,000 Serie IV (conjunto nacional)*, INEGI, Aguascalientes, México.
- INEGI-INE-CONAGUA, 2007. *Mapa de cuencas hidrográficas de México (escala 1:250,000)*, producto cartográfico derivado de la obra primigenia INE (2003) *Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250,000*, elaborada por A.G. Priego, E. Isunza, N. Luna y J.L. Pérez. (http://mapas.ine.gob.mx/website/mediofisico/hidrologia/cuencas-hidrograficas/cuencas_hidrograficas.html)
- IPPI, S. y V. Flores, 2001. Las tortugas neotropicales y sus áreas de endemismo, *Acta Zool. Mexicana* (N.S.) 84: 49-63.
- INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK, 1995. *Report of the Workshop on a Proposed Bank Strategy to Encourage and Facilitate Improved Water Resources Management in Latin America and the Caribbean*, Washington, D.C., March 1996.
- IUCN, 2003. *United Nations List of Protected Areas*, IUCN, WCPA, UNEP y UNEP-WCMC www.iucn.org/about/union/commissions/wcpa/wcpa_puball/-2256/2003-United-Nations-list-of-protected-areas
- IZAZOLA, H., 1999. *Población y medio ambiente: descifrando el rompecabezas*, Colegio Mexiquense, A.C., México.
- JAMETT DOMÍNGUEZ, G. y A. Rodrigues Finotti, 2005. Evaluación del instrumento caudal ecológico, panorama legal e institucional en Chile y Brasil, *Revista de Gestión del Agua de América Latina* (REGA). Vol. 2 (1): 83-96.
- JAMIESON, C.R., Joy D.M., Lee H., Kostachuk R. y R.J. Gordon. 2005. Resuspension of Sediment-Associated *Escherichia coli* in a Natural Stream, *J. Environ. Qual.* 34: 581-589.
- JANSEN, C.C., N.A. Prow, C.E. Webb, R.A. Hall, A.T. Pyke, B.J. Harrower, I.L. Pritchard, P. Zborowski, S.A. Ritchie, R.C. Russell y A.F. Van den Hurk, 2009. Arbovirus isolated from Mosquitoes Collected from Urban and Peri-urban Areas of Eastern Australia, *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 25(3): 272-278.
- JANSSON, R., N. Christer y B. Brenofalt, 2000. Fragmentation of Riparian Flora in Rivers with Multiple Dams, *Ecology* 81(4): 899-903.
- JIMÉNEZ, J., J. Calvo, F. Pizarro y E. González, 2005. *Conceptualización de caudal ambiental en Costa Rica: Determinación inicial para el río Tempisque*, UICN, Costa Rica.
- JIMÉNEZ, C.A. A.G. Sánchez, H.J. Ramos, G.J. Mendoza, J.E. Domínguez, E.J. López, J.O. Romero y F. Víctor, 2006. *Anteproyecto de la rectificación integral del río Suchiate y la rehabilitación del bordo de la población de Hidalgo*, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- JOHNSON, D.E., 2000. *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*, Thompson International Editores, México.
- JOLON, M.R., 2007. *Análisis de vacíos y omisiones para el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas*, Informe Final Consultoría, TNC, Guatemala.
- KAMYKOWSKI, D. y S.J. Zentara, 1990. Hypoxia in the World Ocean as Recorded in the Historical Data Set, *Deep-Sea Research* 37: 1861-1874.
- KAUFFER MICHEL, Edith F., 2008, Comités de cuenca en Chiapas y Tabasco: entre la participación endeble y el riesgo de politización, In: Denise Soares, Sergio Vargas y María Rosa Nuño (eds.), *La gestión de los recursos hídricos: realidades y perspectivas*, SEMARNAT, IMTA, Universidad de Guadalajara, pp. 193-227.
- KEESE, K., B. Scanlon y R. Reedy, 2005. Assessing Controls on Diffuse Groundwater Recharge Using Unsaturated Flow Modeling, *Water Resources Research* 41 (w06010): 1-12.
- KING, K.A., D.L. Baker, W.G. Kepner y C.T. Martínez, 1993. *Contaminants in Sediment and Fish from National Wildlife Refuges on the Colorado River, Arizona*, U.S. Fish and Wildlife Service, Phoenix, Arizona.
- KOLEFF, P., J. Soberón et al., 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies, In: *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*, CONABIO, México, pp. 323-364.
- KOLEFF, P., M. Tambutti, I.J. March, R. Esquivel, C. Cantú, A. Lira-Noriega et al., 2009. Identificación de prioridades y análisis de vacíos y omisiones en la conservación de la biodiversidad de México, In: *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*, CONABIO, México, pp. 651-718.
- KONRAD, H., 1994. Campeche y el uso de los recursos de su selva tropical: una revisión preliminar, In: H.W. Folan (coord.), *Campeche maya colonial*, Colección Arqueología, Universidad Autónoma de Campeche, pp. 206-224.
- LA RED (RED DE ESTUDIOS SOCIALES EN PREVENCIÓN DE DESASTRES EN AMÉRICA LATINA), 2004. *Desinventar. Sección México. Sistema de inventarios y análisis de desastres*.
- LAFÓN, A., 2008. *Diagnóstico de las poblaciones de berrendo (Antilocapra americana) y especies con estatus asociadas en el estado de Chihuahua*, UACH-SEMARNAT-Gobierno del Estado de Chihuahua, no publicado.

- LARIOS, E., 1988. Actividades de Pemex en la región del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva, In: INIREB-División Regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco, *Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*, Villahermosa, México, pp. 707-710.
- LAVELL, A. (comp.), 1994. *Viviendo en riesgo. Comunidades vulnerables y prevención de desastres*, FLACSO-LA RED. (Disponible en: <http://www.desenredando.org/public/libros/1994/ver/>)
- LAVÍN, M.F. y S. Sánchez, 1999. On How the Colorado River Affected the Hydrography of the Upper Gulf of California, *Continental Shelf Research* 19: 1545-1560.
- LEE, J.C., 2000. *A Field Guide to the Amphibians and Reptiles of the Maya World: the Lowlands of Mexico, Northern Guatemala and Belize*, Cornell University Press.
- LEE, T.R., 1995. *The Management of Shared Water Resources in Latin America*, *Natural Resources Journal*, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Vol. 35: 541-553.
- LEÓN HERRERA, J. de los A., M.G. Montoya, M.A. Miranda, I.H. Pacheco, E.V. Villarreal y R.M. Contreras, 1987. *Estudio del uso actual y potencial del suelo y tenencia de la tierra de ocho centros integradores de la cuenca baja del río Usumacinta*. Secretaría de Educación, Cultura y Recreación, Dirección de Educación Superior e Investigación Científica, *Investigación Científica en la Cuenca del Usumacinta*, Vol. 1, N° 2, pp. 9-125.
- LEOPOLD, A., 1949. *A Sand County Almanac*, Oxford University Press.
- LERCARI, D. y E.A. Chávez, 2007. Possible Causes Related to Historic Stock Depletion of the Totoaba, *Totoaba macdonaldi* (Perciformes: Sciaenidae), Endemic to the Gulf of California, *Fisheries Research* 86: 136-142.
- LEVANDOSKI, G., A. Panjabi y R. Sparks, 2008. *Wintering Bird Inventory and Monitoring in Priority Conservation Areas in Chihuahuan Desert Grasslands in Mexico: 2008 results*, Final Technical Report I-MXPLAT-08, Rocky Mountain Bird Observatory, Brighton, Colorado.
- LEVY, J.P. y J. Varela, 2008. *Análisis multivariable para las ciencias sociales*, Pearson-Prentice Hall, España.
- LEY DE AGUAS NACIONALES, Diario Oficial de la Federación, 1° de diciembre de 1992, México.
- LIST, R., G. Ceballos, C. Curtin, P. Gogan, J. Pacheco y J. Truett, 2007. Historic Distribution and Challenges to Bison Recovery in the Northern Chihuahuan Desert, *Cons. Biol.* 21(6): 1487-1494.
- LOOTSMA, F.A., 1999. *Multi-Criteria Decision Analysis Via Ratio and Difference Judgment*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- LÓPEZ, R.A. y J. Zavala, 1988. Impacto de la industria petrolera en zonas inundables del estado de Tabasco, In: INIREB-División Regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco, *Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*, Villahermosa, México, pp. 637-644.
- LORD, W.B. y M. Israel, 1996. *A Proposed Strategy to Encourage and Facilitate Improved Water Resources Management in Latin America and the Caribbean*, Environment Division, Social Programs and Sustainable Development Department Inter-American Development Bank, Washington, D.C.
- LOT, A. y A. Novelo, 1988. El pantano de Tabasco y Campeche: la reserva más importante de plantas acuáticas de Mesoamérica, In: INIREB-División Regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco, *Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*, Villahermosa, México, pp. 537-548.
- LOT, A., 2004. Flora y vegetación de los humedales de agua dulce en la zona costera del Golfo de México, In: M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.) *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología, A.C., Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, México, pp. 521-553.
- LOWER COLORADO RIVER MULTI-SPECIES CONSERVATION PROGRAM (LCR MSCP), 2004. *Lower Colorado River Multi-Species Conservation Program, Volume III: Final Biological Assessment*, Sacramento, California.
- LUECKE, D.F., J. Pitt, C. Congdon, E. Glenn, C. Valdés-Casillas y M. Briggs, 1999. *A Delta Once More*, Environmental Defense Fund, Boulder, Colorado.
- LUNDBERG, J.G., J.P. Sullivan, R. Rodiles y D. Hendrickson, 2007. Discovery of African Roots for the Mesoamerican Chiapas Catfish, *Lacantunia enigmatica*, Requires an Ancient Intercontinental Passage, *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 156: 39-53.
- MAASS, M., 2008. *Hacia un programa nacional de manejo de socio-ecosistemas como estrategia para abordar el deterioro de las cuencas hidrográficas de México*, documento de trabajo, Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P., 53 p.
- MALCZEWSKI, J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley & Sons, New York.
- MARCH, I.J. y J.C. Fernández, 1998. *La gran cuenca del río Usumacinta: Una contradicción regional*, XX Coloquio de Antropología e Historia Regionales: Agua, Medio Ambiente y Desarrollo en México, 21 al 23 de Octubre 1998, El Colegio de Michoacán, Zamora, Michoacán, pp. 314-336.
- MARGULES, C.R. y R.L. Pressey, 2000. Systematic Conservation Planning, *Nature* 405: 243-253.
- MARK, A. y K. Dickson, 2008. Maximizing Water Yield With Indigenous Non-Forest Vegetation: A New Zealand Perspective, *The Ecological Society of America* 6(1): 25-34.
- MARTÍNEZ DOMÍNGUEZ, R. y D.A. Rodríguez, 2008. Forest Fires in Mexico and Central America, *Proceedings of the Second International Symposium on Fire Economics, Planning and Policy: a Global View*, Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-208, Albany, California, Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- MARTÍNEZ SALAS, E. y C. Galindo Leal, 2002. La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución, *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 71: 7-32.
- MATTHEWS, E., M. Rohweder, R. Payne y S. Murra., 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Forest Ecosystems*. World Resources Institute, Washington, D.C.
- MAYA-MARTÍNEZ, A., 2005. Las mariposas (Rhopalocera: Papilionidae, Pieridae y Nymphalidae) de la selva alta subperenifolia de la región de Calakmul, México, con nuevos registros. *Folia Entomológica Mexicana*, 44(2): 123-143.
- MAZA, J.A. y R. Springall, 1969. *Modelo del río Suchiate*, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- MC CULLY, P., 2001. *Silenced Rivers, the Ecology and Politics of Large Dams*, Zed Books.
- MEDELLÍN, R.A., G. Cancino, A. Clemente y R. Guerrero, 1992. Noteworthy Records of Three Mammals from Mexico, *The Southwestern Naturalist*, Vol. 37, N° 4: pp. 427-429.
- MEDINA, G., M. Rincones y C. D'Suzze, 1995. Incidencia del saneamiento en la presencia de enfermedades diarreicas en niños menores de cinco años, *Ingeniería Sanitaria y Ambiental* 19: 34-41.
- MELLINK, E., E. Palacios y S. González, 1997. Non-Breeding Waterbirds of the Delta of the Rio Colorado, Mexico, *Journal of Field Ornithology* 68: 113-123.
- MENDEZ L., V. Miyashiro, R. Rojas et al., 2004. Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio, *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr.* [online], jul./dic., vol.7, N° 14: 74-83. www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-08882004000200010&lng=es&nrm=iso (Revisado: 28/05/2010).
- MENDOZA, F. y Asociados, s/f. *Estudio de los Recursos Naturales Renovables de las Cuencas Internacionales Guatemala-México*.
- MENKES, C y O. Mojarro, 2006. Preferencias reproductivas en el último tramo de la transición demográfica en México, In: CONAPO, *La transición demográfica en México 2006*, CONAPO, México, pp. 65-73.
- MILBRATH, L. y J. Deloach, 2006. Acceptability and Suitability of Athel, *Tamarix aphylla*, to the Leaf Beetle *Diorhabda elongata* (Coleoptera: Chrysomelidae), a Biological Control Agent of Saltcedar (*Tamarix spp.*), *Environmental Entomology* 35(5): 1379-1389.
- MILLER, J.R., 1997. The Role of Fluvial Geomorphic Processes in the Dispersal of Heavy Metals from Mine Wastes, *J. Geochem. Explorat.* 58: 101-118.
- MINCKLEY, W.L. y P. Unmack, 2000. Western Springs: Their Faunas and Threats to Their Existence, In: S. Chisholm (ed.), *Descubre una Cuenca: Río Grande/Río Bravo*. Discover a Watershed Series, International Water Education for Teachers, USA: 52.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN, Grupo Asesor de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 1983. *Estudio Preliminar de los Recursos Naturales Renovables en las Cuencas Internacionales Guatemala-México*, septiembre 1983.
- MOELLER, G. y V. Escalante, 2000. *Las lagunas de estabilización: ¿tecnología apropiada o tecnología de punta para el tratamiento de aguas resi-*

- duales? *La experiencia mexicana*. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Porto Alegre, Brasil. <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-157.pdf> (Revisado: 06/04/2010).
- MOLLARD, E. y S. Vargas, 2005. Introducción, In: Vargas S. y E. Mollard (eds.) *Problemas socio-ambientales y experiencias organizativas en las cuencas de México*, IMTA-IRD, México.
- MONTGOMERY, D.R., G.E. Grant y K. Sullivan, 1995. Watershed Analysis as a Framework for Implementing Ecosystem Management, *Water Resources Bulletin* 3: 369-386.
- MONTOYA, G., L. Soto, B. de Jong, K. Nelson, P. Fariás, P. Yakactic, J.H. Taylor y R. Tipper, 2000. *Desarrollo forestal sustentable: Captura de carbono en las zonas tzeltal y tojolabal del estado de Chiapas*, Instituto Nacional de Ecología. Cuadernos de Trabajo N° 4, México, 50 p.
- MORA, M.A. y D.W. Anderson, 1995. Selenium, Boron, and Heavy Metals in Birds from the Mexicali Valley, Baja California, Mexico, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 54: 198-206.
- MORALES, M. y R. Rodiles, 2000. Implicaciones de *Ctenopharyngodon idella* en la comunidad de peces del río Lacanjá, Chiapas, *Hidrobiológica* 10(1): 13-24.
- MORENO CASASOLA, P., 2006. ¿Qué significa vivir en una zona costera? In: Moreno-Casasola, P., E. Peresbarbosa Rojas y A.C. Travieso-Bello (eds.) *Estrategia para el manejo costero integral*, Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz, México, pp. 53-80.
- MORRISON, J., S. Postel y P. Gleick, 1996. *The Sustainable Use of Water in the Lower Colorado River Basin*, Pacific Institute for Studies in Development and Environmental Security, Oakland, California.
- MÜLLER, R., 2005. *Priorización de cuencas bolivianas para la implementación de sistemas de compensación por servicios ambientales*, Fundación Natura. (Disponible en: http://www.naturabolivia.org/Informacion/seleccion_cuen-cas%20CSA%20final,%20PARTE%20I.pdf) (revisado 09/04/2010).
- NACIONES UNIDAS, 2001. *Población, medio ambiente y desarrollo*, informe conciso, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población, Nueva York.
- NAGLER, P.L., O. Hinojosa-Huerta, E.P. Glenn, J. García-Hernández, R. Romo, C. Curtis, A.R. Huete y S.G. Nelson, 2005. Regeneration of Native Trees in the Presence of Invasive Saltcedar in the Colorado River Delta, Mexico, *Conservation Biology* 19: 1842-1852.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1999. *New Strategies for America's Watersheds*, National Academy Press, Washington. (Revisado el 15/01/2010 en <http://www.nap.edu/catalog/6020.html>).
- NAVARRETE, D.M., S. Slocombe y B. Mitchell, 2006. Science for Place-Based Socioecological Management: Lessons from the Maya Forest (Chiapas and Petén), *Ecology and Society* 11(1): 12.
- NEARING, A.M., Norton D.L. y X. Zhang, 2000. Soil Erosion and Sedimentation, In: Ritter W., A. Shirmohammadi (eds.), *Agricultural Nonpoint Source Pollution*, Lewis Publishers, pp. 29-58.
- NELSON, M., 1972. *El Aprovechamiento de las tierras tropicales en América Latina*, Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social, Ed. Siglo XXI, México.
- NICHOLLS, P.J. y P.P. Wong (eds.), 2007. *Coastal Systems and Low-Lying Areas. Working Group II: Impact, Adaptation and Vulnerability*, IPCC, Fourth Assessment Report, Climate Change 2007. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch6.html (Revisado: 29/03/2010).
- NILSSON, C., C. Christer, A. Reidy, M. Dynesius y C. Revenga, 2005. Fragmentation and Flow Regulation of the World's Large River Systems, *Science* 308: 405-408.
- NOLASCO, M., V. Molina y M.A. Bravo, 1990. *Los Municipios de las fronteras de México, III. Población, Cultura y Sociedad*, Centro de Ecodesarrollo, Centro Nacional de Desarrollo Municipal, México, D.F.
- NOAA, 2007. National Hurricane Center Database, National Weather Service, Online GIS Service. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- OGDEN, C.J., E.C. Knoder, A. Sprunt, 1988. *Colonial Wading Bird Populations in the Usumacinta Delta, México*, Ornithological Research Unit, National Audubon Society.
- OGDEN, J.C., C.E. Knoder y A. Sprunt IV., 1988. Poblaciones de aves acuáticas coloniales en el Delta del Usumacinta, México, In: INIREB-División Regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco, *Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*, Villahermosa, México, pp. 569-574.
- OHMART, R.D., B.W. Anderson y W.C. Hunter, 1988. The Ecology of the Lower Colorado River from Davis Dam to the Mexico-United States International Boundary: A Community Profile, U.S. Department of the Interior Fish and Wildlife Service, *Biological Report* 85 (7.19).
- 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.
- OLDEMAN, L.R., R.T.A. Hakkeling y W.G. Sombroek, 1991. *World Map on Status of Human-Induced Soil Degradation: An Explanatory Note*, second revised edition, ISRIC/UNEP.
- OLIVERA, M., E. Abraham y M.G. Alatríste, 2008. El uso racional del agua de riego en México: entre la eficiencia y la institucionalidad, *Revista Nicolaita de Estudios Económicos* 3: 49-66.
- ONGLEY, E.D., 1997. *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*, FAO, Serie Riego y Drenaje 55, Italia.
- ORGANIZATION OF AMERICAN STATES, 1984. *Integrated Regional Development Planning: Guidelines and Case Studies from OAS Experience*, Department of Regional Development, Secretariat for Economic and Social Affairs, U.S. AID, Washington, D.C.
- OROPEZA, O. y C. Enríquez, 2007. Zonas susceptibles a inundaciones, In: A. Coll (coord.), *Nuevo Atlas Nacional de México. Sección Naturaleza*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- OROPEZA, O., 2008. Prevención de desastres de origen hidrometeorológico, una prioridad nacional: El caso de las inundaciones, In: D. Rodríguez, S. Lucatello, S. y M. Garza (coords.), *Políticas y desastres*, Instituto Mora y Red Mexicana de Estudios Interdisciplinarios para la Prevención de Desastres, México.
- ORTÍZ, M.A., 1996. *Zonificación de la peligrosidad de fenómenos geológicos-geomorfológicos de México*, 2° Informe Técnico, Instituto Nacional de Ecología, México.
- OSMOND, C.B., O. Björkman y D.J. Anderson, 1980. *Physiological Processes in Plant Ecology. Toward a Synthesis with Atriplex*, Ecological Studies Vol. 36, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- OSWALD, U. (ed.), 2003. *El recurso del agua en el Alto Balsas*. CRIM-UNAM, Instituto de Geofísica (UNAM), Colegio de Tlaxcala, A.C., México.
- PANDE, S., M.A. Keyzer, A. Arouna y B.G. Sonneveld, 2008. Addressing Diarrhea Prevalence in the West African Middle Belt: Social and Geographic Dimensions in a Case Study for Benin, *International Journal of Health Geographics* 7: 17.
- PARTIDA, B.V. y H.M.A. Martínez (comps.), 2006. Migración interna, In: CONAPO, *La situación demográfica de México, 2006*, Consejo Nacional de Población, México, pp. 167-190.
- PAT, J. y V. Ku, 2000. *Tendencias de cambio en el uso del suelo por los factores socioeconómicos, naturales y técnicos en la región de Calakmul, Campeche*, Memoria de Avances de investigación, El Colegio de la Frontera Sur, Campeche, México.
- PATTEN, M.A., E. Mellink, H. Gómez de Silva y T.E. Wurster, 2001. Status and Taxonomy of the Colorado Desert Avifauna of Baja California, *Monographs in Field Ornithology* 3: 29-63.
- PAUTASSO, M., 2007. Scale Dependence of the Correlation Between Human Population Presence and Vertebrate and Plant Species Richness, *Ecology Letters* 10: 16-24.
- PEÑA, F., 2004. *Los pueblos indígenas y el agua: desafíos del siglo XXI*, El Colegio de San Luis, WALIR, SEMARNAT, IMTA, Bogotá, Colombia, pp. 161-194.
- PEREGRINA LLANES, M., 2010. *Caracterización hidrogeológica del flujo subterráneo hacia humedales en la mesa arenosa de Andrade, Mexicali, Baja California*, Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, Baja California.
- PÉREZ, B.A. del C., 2002. *La inmigración y colonización. Descripción de un proceso sociocultural y económico, 1960 a 2000*. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Campeche, Tesis de Licenciatura en Economía.
- PETERSON, A.T., A.G. Navarro-Sigüenza, B.E. Hernández-Baños, G. Escalona-Segura, F. Rebón-Gallardo, E. Rodríguez-Ayala, E. M.Figueroa-Esquivel y L. Cabrera-García, 2003. The Chimalapas Region, Oaxaca, Mexico: a High-Priority Region for Bird Conservation in Mesoamerica, *Bird Conservation International* 13: 227-253.
- PETERSON, A.T., M.A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V.

- Sánchez-Cordero, J. Soberón, R. H. Buddemeier y D.R.B. Stockwell, 2002. Future Projections for Mexican Faunas Under Global Climate Change Scenarios, *Nature*, Vol. 416: 626-629. www.ecologia.unam.mx/cursos/ecocomunidades/soberon.nature.pdf
- PETRÓLEOS MEXICANOS, 2009. *Anuario estadístico*, Gerencia de Integración de Información, México, D.F.
- PICC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York.
- PISANTY, I., M. Mazari, E. Ezcurra *et al.*, 2009. El reto de la conservación de la biodiversidad en zonas urbanas y periurbanas, In: *Capital natural de México, vol. II: Estado de Conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 719-759.
- PITT, J., 2001. Can We Restore the Colorado River Delta? *Journal of Arid Environments* 49: 211-220.
- PERLÓ COHEN, M. y A.E. González, 2005. *¿Guerra por el agua en el valle de México? Estudio sobre las relaciones hidráulicas entre el Distrito Federal y el Estado de México*, Coordinación de Humanidades, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, UNAM y Fundación Friederich Ebert, México.
- PNUD, 2005. *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Development Strategies, Policies and Measures*. Nueva York, Cambridge University Press.
- PNUD/FAO, 1970. *Programa integrado de enseñanza, investigación y extensión agrícola, Chapingo, México. El reconocimiento de los suelos en la Península de Yucatán*, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Informe agl:sf/Mex 6, Informe Técnico 1. Roma.
- PNUD, 2009. *Indicadores de Desarrollo Humano y Género en México 2000-2005*. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, México.
- POFF, N.L. y Allan, J.D., 1997. The Natural Flow Regime, *Bioscience* Vol.47(11): 769-785.
- POSTEL, S. y B. Richter, 2003. *Rivers for Life. Managing Water for People and Nature*, Island Press.
- POTTER, B., S. Gerlach y C. Gates, 2009. History of Bison in North America, In: *American Bison: Status Survey and Conservation Guidelines 2010*, Chapter 2, IUCN, Switzerland. cmsdata.iucn.org/downloads/american_bison_report.pdf
- PRESANCA, 2009. *Indicadores de situación de seguridad alimentaria y nutricional en Centroamérica y República Dominicana*. Programa Regional de Seguridad Alimentaria y Nutricional para Centroamérica.
- PRIEGO RAMÍREZ P., E. Balcázar, G. Calderón y J.L. Santos, 1987. Estudio económico y sociodemográfico en ocho centros integradores de la región Usumacinta, In: *Investigación científica en la cuenca del Usumacinta*, Gobierno del estado de Tabasco, Dirección de Educación Superior e Investigación Científica, pp. 145-243.
- PRIMACK, R.B., D. Bray, H.A. Galleti e I. Ponciano, 1998. Timber, *Tourist and Temples: Conservation and Development in the Maya Forest of Belize, Guatemala and Mexico*, Island Press, Washington, D.C.
- PRITCHARD, D.W., 1967. What is an Estuary: Physical Viewpoint. In: G.H. Lauff (ed.), *Estuaries, Am. Ass. Adv. Sci. Spec. Publ.* 83: 3-5.
- PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA), 2002. *Sistema de los Recursos Naturales en América Latina*. www.agua.org.mx (Revisado: 07/01/2010).
- PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD), 2009. *Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, 2009*. www.undp.org.mx (Revisado: 16/07/2009).
- PRYDE, P., J. Jamieson, O. Romo y J. King, 2005. Lower Tijuana River Valley, In: *Tijuana River Watershed Atlas/Atlas de la cuenca del río Tijuana*, San Diego SDSU Press, pp. 31-35.
- PYLE, E., R. Ward, G. McBride y B. Huser, 2007. Establishing Watershed Management in Law: New Zealand's Experience, *Journal of the American Water Resource Association* 37(4): 783-793.
- QUINTAS, I., 2004. *Explotación de la Base de Datos Climatológica Nacional del siglo XX*. Reporte de PROMMA N° 199, Comisión Nacional del Agua, México.
- RABALAIS, N.N., 2004. Hipoxia en el Golfo de México, In: M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (comps.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México, Vol. II*, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 773-790.
- RADACHOWSKY, J., 2002. Monitoreo de la integridad ecológica de la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala: Componente de Guacamayas. Noviembre 2002. Un reporte preparado por Wildlife Conservation Society para FIPA y USAID, Guatemala.
- RAJAGOPALAN, B., K. Nowak, J. Prairie, M. Hoerling, B. Harding, J. Barsugli, A. Ray y B. Udall, 2009. Water Supply Risk on the Colorado River: Can Management Mitigate? *Water Resources Research* 45: w08201, doi: 10.1029/2008WR007652.
- RAMOS, E.M.G., M.J. Pérez y C.A. García, 2006. Uso de plaguicidas, In: H. Cotler, M. Mazari y J. de Anda (eds.), *Atlas de la cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta*, Instituto Nacional de Ecología-UNAM, pp. 70-71.
- RAMOS-MIRANDA, J., D. Flores-Hernández, A. Sosa-López y T. Do-Chi, 1999. Variables ambientales como factores importantes en la abundancia y distribución de juveniles de camarón blanco, *Litopenaeus setiferus*, en la Laguna de Términos, México, Sur del Golfo de México, *Proc. 52nd Annual Gulf and Caribbean Fish Inst.*, Key West Florida, pp. 242-257.
- RAMOS-MIRANDA, J., L. Quiniou, D. Flores Hernández, T. Do Chi, L. Ayala Pérez y A. Sosa López, 2005a. Spatial and Temporal Changes in the Nekton in Términos Lagoon, Campeche, México, *Journal of Fish Biology* 66: 513-530.
- RAMOS-MIRANDA, J., D. Mouillot, D. Flores Hernández, A. Sosa López, T. Do Chi y L.A. Ayala Pérez, 2005b. Changes in Four Complementary Facets of Fish Diversity in a Tropical Coastal Lagoon After 18 years: a Functional Interpretation, *Marine Ecology Progresses Series* 304: 1-13.
- RAMOS, V.H. y E. Bernales, 2001. Estimación de la deforestación en la Reserva de la Biosfera Maya, periodos 1997-2000 y 2000-2001, CI-CONAP-FMAM.
- RAMOS, V.H., I. Burgués, L. Fleck, B. Castellanos, C. Albacete, G. Paiz, P. Espinosa y J. Reid, 2007. *Análisis económico y ambiental de carreteras propuestas dentro de la Reserva de la Biosfera Maya*, Conservation Strategy Fund, Conservación Estratégica, Serie Técnica, abril de 2007.
- RAYNAL, J. y A. Rodríguez, 2008. *Posibles escenarios del impacto del cambio climático en la cuenca del Río Conchos, México*, xx Congreso Nacional de Hidráulica, Toluca, estado de México. www.amh.org.mx/CongOct08/resumes.pdf
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (RAE), 2001. *Diccionario de la lengua española*, RAE, España, 22ª edición.
- REVENGA, C., S. Murray, J. Abramovitz y A. Hammond, 1998. *Watersheds of the World. Ecological Value and Vulnerability*, World Resources Institute, Washington, D.C.
- REVENGA, C., J. Brunner, N. Henninger, K. Kassem y R. Payne, 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems. Freshwater Systems*, World Resources Institute, Washington, D.C.
- REVEL-MOUROZ, J., 1972. *Aprovechamiento y colonización del trópico húmedo mexicano*, Fondo de Cultura Económica.
- REYNA-HURTADO, R. y G.W. Tanner, 2005. Habitat Preferences of Ungulates in Hunted and Nonhunted Areas in the Calakmul Forest, Campeche, Mexico, *Biotropica* 37: 676-685.
- REYNOLDS, K., 2002. *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica: Identificación del problema*. www.agualatinoamerica.com (Revisado: 17 de mayo de 2010).
- REYNOLDS, J.F. y D.M. Stafford Smith, 2002. *Global Desertification. Do Humans Cause Deserts?* Dahlem University Press, Berlin, Germany.
- RICHTER, B., R. Wigington, J.Y. Baumgartener y D. Braun, 1997. How Much Water Does a River Need?, *Freshwater Biology* 37(1): 231-249.
- RODAS, J., E.I. Romero y A. Estrada, 2008. Distribution and Conservation of the West Indian Manatee (*Trichechus manatus manatus*) in the Catazajá Wetlands of Northeast Chiapas, México, *Tropical Conservation Science*, Vol. 1(4): 321-333.
- RODILES, R., D. Hendrickson, J. Lundberg y J. Humpries, 2005. *Lacantunia enigmatica* (Teleostei: Siluriformes) a New and Phylogenetically Puzzling Freshwater Fish from Mesoamerica, *Zootaxa* 1000: 1-24.
- RODRIGUES, A.S.L., S.J. Andelman, M. Bakarr, L. Boitani, T. Brooks *et al.*, 2003. *Global Gap Analysis: Towards a Representative Network of Protected Areas*, Advances in Applied Biodiversity Science, N° 5, Center for Applied Biodiversity Science at Conservation International, Washington, D.C.
- RODRIGUEZ, C.A., K.W. Flessa y D.L. Dettman, 2001a. Effects of Upstream Diversion of Colorado River Water on the Estuarine Bivalve Mollusc *Mulinia coloradoensis*, *Conservation Biology* 15: 249-258.

- RODRÍGUEZ, C.A., K.W. Flessa, M.A. Téllez-Duarte, D.L. Dettman y G.A. Ávila-Serrano, 2001b. Macrofaunal and Isotopic Estimates of the Former Extent of the Colorado River Estuary, Upper Gulf of California, México, *Journal of Arid Environments* 49: 183-193.
- RODRÍGUEZ GARCÍA, A., 2007. *De Río Negro al Usumacinta. El coste de la luz*. Guatemala. No Publicado.
- RODRÍGUEZ, H., 1992. *Desarrollo urbano y medio ambiente*, Fundación Friedrich Ebert Stiftung, México, D.F.
- RODRÍGUEZ, J. y L. Pratt, 1998. *Potencial de carbono y fijación de dióxido de carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de Guatemala*, documento en proceso, Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo Sostenible (CLACDS) del Instituto Centroamericano de Administración de Empresas (INCAE).
- ROJAS-BRACHO, L. y B. Taylor, 1999. Risk Factors Affecting Vaquita, *Marine Mammal Science* 15: 974-989.
- ROQUE, B.G., 1964. *Rectificación del río Suchiate*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- ROSENBERG, V.K., R.D. Ohmart, W.C. Hunter y W.B. Anderson, 1991, *Birds of the Lower Colorado River Valley*, The University of Arizona Press, Tucson, Arizona.
- ROSENBERG, D., P. McCully y C. Pringle, 2000. Global-Scale Environmental Effects of Hydrological Alterations: Introduction, *BioScience* 50(9): 746-751.
- ROWELL, K., K.W. Flessa, D.L. Dettman y M. Román, 2005. The Importance of Colorado River Flow to Nursery Habitats of the Gulf Corvina (*Cynoscion othonopterus*), *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62: 2874-2285.
- ROWELL, K., K.W. Flessa, D.L. Dettman, M.J. Román, L.R. Gerber y L.T. Findley, 2008. Diverting the Colorado River Leads to a Dramatic Life History Shift in an Endangered Marine Fish, *Biological Conservation* 141: 1138-1148.
- SAATY, T., 2001. *The Analytic Network Process: Decision Making with Dependence and Feedback*, RWS Publications, Pittsburgh, Pennsylvania.
- SAAVEDRA, F. y M. Cervantes (comps.), 2003. *Población y recursos naturales: el caso del agua. La situación demográfica de México, 2003*. Consejo Nacional de Población, México, pp. 77-95.
- SADER, S., D.K. Hayes, J. Hepinstall, M. Coan y C. Soza, 2001. Forest Change Monitoring of a Remote Biosphere Reserve, *International Journal of Remote Sensing* 22(10): 1937-1950.
- SALGADO-ORTÍZ, J., E.M. Figueroa-Esquivel y J. Soriano-Vargas, 2001. Avifauna del estado de Campeche: Inventario y colección científica de referencia, In: R.I. Márquez (ed.), *Contribuciones al conocimiento y manejo de los recursos naturales del estado de Campeche*, Universidad Autónoma de Campeche.
- SÁNCHEZ COLÓN, S., A. Flores Martínez, I.A. Cruz-Leyva y A. Velásquez, 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas, In: *Capital natural de México, Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. CONABIO, México, pp. 75-129.
- SÁNCHEZ, M.T. y O. Oropeza (coord.), 2003. *Atlas regional del istmo de Tehuantepec*, Instituto de Geografía, UNAM, México, versión digital.
- SÁNCHEZ-RAMÍREZ, O., 1990, *Crónica agrícola del valle de Mexicali*, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, Baja California.
- SAND, P.H., 1992. *The Effectiveness of International Environmental Agreements, A Survey of Existing Legal Instruments*, The United Nations Conference on Environment and Development, pp. 1-3.
- SANVICENTE, S.H., A.I. Ramírez, M.I. Orozco y J.A. Benítez, 2005. Modelación hidrológica distribuida en la cuenca del río Candelaria, *Jaina* volumen especial: 14-15.
- SARUKHÁN, J., et al., 2009. *Capital natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectiva de sustentabilidad*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- SCDB, 2004. *Programa de Trabajo sobre Áreas Protegidas (Programas de trabajo del CDB)*, Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (SCDB), Montreal, Canadá.
- SCHMIDT, J.C., B.L. Everitt y G.A. Richard, 2003. Hydrology and Geomorphology of the Rio Grande and Implications for River Restoration, in *Aquatic Fauna of the Northern Chihuahuan Desert*, edited by G.P. Garrett y N.L. Allan: Museum of Texas Tech. University, Special Publication N°46, p. 25-45.
- SCHWANDT, J., 2002. Bi-National Water Issues in the Rio Grande/Río Bravo Basin, *Water Policy* 4(2): 137-155.
- SCHWARTZ, N.B., 1990. *Forestry Society: A Social History of Peten, Guatemala*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press.
- SECAIRA, F. et al., 2005. *Plan Ecorregional de las Selvas Maya, Zoque y Olmeca*, Pronatura Península de Yucatán, The Nature Conservancy, Programme for Belize, ECOSUR, Wildlife Conservation Society, Conservation International, Amigos de Sian Ka'an, PROPETÉN.
- SECCHI, S., P.W. Gassman, M. Jha, L. Kurkalova, H.H. Feng, T. Campbell y C.L. Kling, 2007. The Cost of Cleaner Water: Assessing Agricultural Pollution Reduction at the Watershed Scale, *Journal of Soil & Water Conservation* 62(1): 10-21.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL Y SECRETARÍA GENERAL DE PLANIFICACIÓN ECONÓMICA, 1996. *Programa para el Desarrollo Sostenible en las Poblaciones Fronterizas México-Guatemala*, I Reunión de Autoridades Municipales Fronterizas México-Guatemala, Tapachula, Chiapas-México, mayo de 1996, pp. 3-11.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL)-INSTITUTO DE GEOGRAFÍA (UNAM), 2000. *Guía metodológica para la elaboración de programas estatales de ordenamiento territorial*, México.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL)-CONSEJO NACIONAL DE POBLACIÓN, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA, 2005. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*, México.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL (SEDESOL), 2006. *Sistema Normativo de Equipamiento Urbano*, México, D.F.
- SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA, DELEGACIÓN ESTATAL, TABASCO, 1988. Propuesta del área natural protegida de los pantanos de Centla, In: INIREB-División Regional Tabasco, Gobierno del Estado de Tabasco, *Ecología y conservación del delta de los ríos Usumacinta y Grijalva (Memorias)*, Villahermosa, México, pp. 699-704.
- SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN (SEGOB)-CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED), 1994. *Inundaciones*, fascículo N° 3, México, D.F.
- , 2000. *Atlas nacional de riesgos de la República Mexicana*, Versión Digital, CENAPRED, México.
- , 2001. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México, In: *Atlas nacional de riesgos de la República Mexicana*, CENAPRED, México.
- , 2009. *Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana, en el año 2007*, Serie: Impacto socioeconómico de los desastres en México, CENAPRED. México.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT)-INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA (INE), 2000. *Estrategia ambiental para la gestión integrada de la zona costera. Propuesta*, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, México, D.F.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT)-COLEGIO DE POSGRADUADOS (COLPOS), 2002. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Colegio de Posgraduados, Memoria Nacional, México.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT), 2008. *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales*, México.
- , 2008. *Estrategia mesoamericana de sustentabilidad ambiental*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales. México.
- SEMARNAT-DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICA AMBIENTAL E INTEGRACIÓN REGIONAL Y SECTORIAL (DGPAIR), 2008a. Base de Datos Geográfica de Ordenamientos Ecológicos del Territorio Regionales. Versión actualizada a 12/2008.
- , 2008b. Base de Datos Geográfica de Ordenamientos Ecológicos del Territorio Locales. Versión actualizada a 12/2008.
- SEMARNAT-DIRECCIÓN GENERAL DE VIDA SILVESTRE (DGVS), 2010. *Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (SUMA)*. Con información actualizada al 31/03/2010. <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/vidasilvestre/Pages/sumas.aspx>, consultada 13/04/2010
- , 2008. *Base de Datos Geográfica del Sistema de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (SUMA)*, 1

- Capa ArcGIS facilitada por la DGVS al 02/09/2008.
- SECRETARÍA DE RELACIONES EXTERIORES, s/f. *Atlas de las cuencas binacionales entre México, Guatemala y Belice*, Sección Mexicana de las Comisiones Internacionales de Límites y Aguas entre México y Guatemala y México-Belice.
- SECRETARÍA DE SALUD (SSA), 2009. *Principales causas de morbilidad 2009*. Dirección General de Epidemiología, Información Epidemiológica de Morbilidad y Boletín Epidemiológico Semanal, Consultar en: http://www.dgepi.salud.gob.mx/boletin/morbilidad/00_morbilidad_index.html
- SECRETARÍA DE TURISMO (SECTUR)-INEGI, 2004. *Estadísticas de turismo con base en los resultados de los Censos Económicos*, México.
- SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, 2005. *Estudios de riesgos por hundimiento en la zona urbana y conurbada de la ciudad de Ameca, Jalisco*, http://www.coremisgm.gob.mx/productos/novedades/estudios/Parte_I.pdf.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2004. *Maya 1.0*.
- SHAFROTH, P.B., J.R. Cleverly, T.L. Dudley, J.P. Taylor, C. Van Riper III, E.P. Weeks y J.N. Stuart, 2005, Control of Tamarix in the Western United States: Implications for Water Salvage, Wildlife use and Riparian Restoration, *Environmental Management* 35: 231-246.
- SHAFROTH, P.B. y M. Briggs, 2008. Restoration Ecology and Invasive Riparian Plants: An Introduction to the Special Section on Tamarix spp. in Western North America, *Restoration Ecology* 16(1): 94-96.
- SHAW, C., 2000. *Sacred Monkey River: A Canoe Trip with the Gods*, W.W. Norton & Co., New York.
- SHARIFI, A. y M. van Herwijnen, 2003. *Spatial Decision Support Systems*, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- SHARIFI, A., M. van Herwijnen y W. van den Toorn, 2004. *Spatial Decision Support Systems*, ITC, Netherlands: 220-222.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN EN SALUD (SINAIS). 2005. En: <http://www.sinais.salud.gob.mx/basesdedatos>. Secretaría de Salud.
- SKORUPA, J.P., S.P. Morman y J.S. Sefchick-Edwards, 1996. *Guidelines for Interpreting Selenium Exposures of Biota Associated with Nonmarine Aquatic Habitats*, U.S. Fish and Wildlife Service, Sacramento, California.
- SORIA-BARRETO, M. y R. Rodiles-Hernández, 2008. Spatial Distribution of Cichlids in Tzendales River, Biosphere Reserve Montes Azules, Chiapas, Mexico, *Environ. Biol. Fish.* 83: 459-469.
- SOSA, L.A., D. Mouillot, T. Do Chi y J. Ramos M. 2005. Ecological Indicators Based on Fish Biomass Distribution Along Trophic Levels: An Application to the Terminos Coastal Lagoon, Mexico, *ICES Journal of Marine Science* 62: 453-458.
- SOSA, O., T. Taniuchi, H. Ishihara y M. Shimizu, 1998. El tiburón chato *Cudzarhinus feúcas* (Valenciennes, 1841) del río Usumacinta, Tabasco, México, con notas sobre la composición de sus suero sanguíneo y osmolaridad, *Ciencias Marinas* 24(2): 183-192.
- SOTELO, E. y O. Jurado, 2007. Criterios de asignación de municipios a las cuencas hidrográficas: El reto de la caracterización socioeconómica de una unidad natural, In: *Memorias del Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*, 19-21 de septiembre, Querétaro, México. (Disponible en: http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/cong_nal_06/tema_03/09_esthela_sotelo.pdf).
- STANFORD, J.A y J.V. Ward, 1992. Management of Aquatic Resources in Large Catchments: Recognizing Interconnections Between Ecosystems Connectivity and Environmental Disturbance, In: R.J. Naiman (ed.), *Watershed Management. Balancing Sustainability and Environmental Change*. Springer-Verlag, New York.
- STATE OF THE BIRDS, 2009 www.stateofthebirds.org
- STEINFELD, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales y C. de Haan, 2006. *Livestock's Long Shadow, Environmental Issues and Options*, FAO, Roma, Italia.
- STROMBERG, J.C. 2001, Restoration of Riparian Vegetation in the Southwestern United States: Importance of Flow Regimes and Fluvial Dynamism, *Journal of Arid Environments* 49: 17-34.
- STROMBERG, J. y D. Patten, 1991, Flood Flows and Dynamics of Sonoran Riparian Forests, *Rivers* 2: 221-235.
- SUZÁN, G., E. Marcé, J.T. Giermakowski, J.N. Mills, G. Ceballos, R.S. Ostfeld, B. Armien, J.M. Pascale y T.L. Yates, 2009. Experimental Evidence for Reduced Rodent Diversity Causing Increased Hantavirus Prevalence, *PLoS ONE* 4(5): e5461.
- SYKES, G., 1937, *The Colorado Delta*, Publication N° 460, Carnegie Institution, Washington, D.C.
- SZEKELY, M. e I. Restrepo, 1988. *Frontera agrícola y colonización. La colonización en Campeche*, Centro de Ecodesarrollo, México, D.F., pp. 133-161.
- TCHOBANOGLOUS, G. 1996. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*, McGraw-Hill/Interamericana, volúmenes I, II y III, tercera edición, México.
- THARME, R., 2003. A Global Perspective in Environmental Flow Assessment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers, *River Research and Applications* 19: 397-441.
- TIJUANA RIVER WATERSHED/ATLAS DE LA CUENCA DEL RÍO TIJUANA, 2005. San Diego State University Press, Institute for Regional Studies of the Californias, El Colegio de la Frontera Norte.
- TIMAEUS, I.M. y L. Lush, 1995. Intra-Urban Differentials in Child Health, *Health Trans. Rev.* 5: 163-90.
- TOLEDO, A., 1982. *Cómo destruir el paraíso: el desastre ecológico del sureste*, Océano, México, D.F.
- , 2006. *Agua, hombre y paisaje*, SEMARNAT-INE, México.
- TOPELSON, S., 2007. *Ciudades mexicanas*, Ponencia presentada en el Foro Internacional sobre Políticas Públicas para el Desarrollo de México, organizado por BID, CEPAL, CIDE, OCDE, PNUD, México, 7 y 8 de febrero de 2007. (Disponible en: http://www.foropoliticaspUBLICAS.org.mx/docs/Ciudades_Sara%20Topelson_SEDESOL.pdf).
- TORRES, F., L.R. Rozga, A. García de León y J. Delgadillo Macías, 2009. *Técnicas para el análisis regional. Desarrollo y aplicaciones*, Trillas, México.
- TRÓPICO VERDE, 2004. *Represas, los hijos no reconocidos del Plan Puebla Panamá*. No publicado.
- TUDELA, F., 2004. *Los síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de México*. Serie Seminarios y Conferencias de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de CEPAL, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- UNIKEL, L., G. Garza y R.C. Chiapetto, 1976. *El desarrollo urbano en México. Diagnóstico e implicaciones futuras*, El Colegio de México. México, D.F.
- UNIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (UICN), 2006, *Informe final proyecto Tacaná, septiembre 2003-septiembre 2006. Tres años de caídas, riesgos y logros*, octava sesión del Consejo de Cuenca de la Costa de Chiapas, Tapachula, noviembre de 2006.
- UNITED NATIONS, 1992. *Convention on the Protection and use of Transboundary Watercourses and International Lakes*, Helsinki, 17 de marzo.
- URQUIZA-HAAS, T., M. Kolb, P. Koleff, A. Lira-Noriega y J. Alarcón, 2008. Methodological Approach to Identify Mexico's Terrestrial Priority Sites for Conservation, *Gap Analysis Bulletin* 16: 60-70.
- URQUIZA-HAAS, E., 2009. Análisis de capacidades nacionales para la conservación *in situ*, In: *México: capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, México, D.F., pp. 51-94.
- USGCRP, 2009. *Global Climate Change Impacts in the United States*, Thomas R. Karl, Jerry M. Melillo y Thomas C. Peterson (eds.), United States Global Change Research Program, Cambridge University Press. www.globalchange.gov/usimpacts
- VALDÉS-CASILLAS, C., E.P. Glenn, O. Hinojosa-Huerta, Y. Carrillo-Guerrero, J. García-Hernández, F. Zamora-Arroyo, M. Muñoz-Viveros, M. Briggs, C. Lee, E. Chavarría-Correa, J. Riley, D. Baumgartner y C. Condon, 1998. *Wetland Management and Restoration in the Colorado River Delta: the First Steps*, Publicación Especial del CECARENA-ITESM Campus Guaymas y del North American Wetland Conservation Council, Guaymas, Sonora.
- VANDERSANDE, M.W., E.P. Glenn y J.L. Walworth, 2001. Tolerance of Five Riparian Plants from the Lower Colorado River to Salinity, Drought, and Inundation, *Journal of Arid Environments* 49: 147-160.
- VARELA-ROMERO, A., G. Ruiz-Campos, L.M. Yépez-Velásquez y J. Alaniz-García, 2002. Distribution, Habitat and Conservation Status of Desert Pupfish (*Cyprinodon macularius*) in the Lower Colorado River Basin, Mexico, *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 157-165.
- VARGAS-CONTRERAS, J.A., J.R. Herrera-Herrera y J.E. Escobedo-Cabrera, 2004. Noteworthy Records of Mammal from Campeche, Mexico, *Revista Mexicana de Mastozoología* 8: 61-69.

- VARGAS-CONTRERAS, J.A., G. Escalona-Segura, J. Arroyo Cabrales, R. Calderón Mandujano, L. Sosa Interián y R. Reyna Hurtado, 2005. Especies prioritarias de vertebrados terrestres en Calakmul, Campeche, *Vertebrata Mexicana* 16: 11-32.
- VÁZQUEZ, L.B. y K.J. Gaston, 2006. People and Mammals in Mexico: Conservation Conflicts at a National Scale, *Biodiversity and Conservation* 15: 2397-2414.
- VÁSQUEZ-SÁNCHEZ, M.A. y M.A. Ramos (eds.), 1992. *Reserva de la Biósfera Montes Azules, Selva Lacandona: Investigación para su conservación*. Publicaciones Especiales Ecosfera 1, ECOSUR-Biodiversity Support Program, México, pp. 393-436.
- VELÁZQUEZ, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J.L. Palacio, 2002. Patronos y tasas de cambio de uso del suelo en México, *Gaceta Ecológica*: 62: 21-37, INE-SEMARNAT, México.
- VERSTAPPEN, H. Th., 1984. *Applied Geomorphology*, Elsevier, Holanda.
- VERSTAPPEN, H. Th. y R.A. van Zuidam, 1991. *El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos. Una base para la evaluación de recursos y riesgos naturales*, ITC publicación N° 10, Enschede, Holanda.
- VERWEI, M., 2000. *A propósito del caudal ecológico*, Bolivia. [www.aguabolivia.org/Exportacion Aguas/Caudal_Eco](http://www.aguabolivia.org/ExportacionAguas/Caudal_Eco) (revisado: 18/05/2010).
- VILA, N., C. Ameri y E. Vázquez, 2009. *Uso racional del agua, una responsabilidad compartida*, ponencia presentada en X Seminario de RedMuni: Nuevo rol del estado, nuevo rol de los municipios, 13 y 14 de agosto de 2009, La Matanza, Argentina. www.sgp.gov.ar (Revisado: 18/05/2010).
- VILLA-RAMÍREZ, B., 1961. Combate contra los coyotes y los lobos en el norte de México, *Anales del Instituto de Biología* 31: 463-499, Universidad Nacional Autónoma de México.
- VILLACORTA, C. y R. Martínez, 2005. Dispelling a Myth of Industrial Wastewater Pollution in Tijuana, *Southwest Hydrology*, Septiembre/Octubre: 30-31.
- VILLANUEVA, J., 2002. *Microcuencas*, Universidad Autónoma de Chapingo, Texcoco, México.
- VITOUSEK, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco y J.M. Melillo, 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems, *Science*, vol. 277: 494-499.
- WACKEMAGEL, M. y W. Rees, 2001. *Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la Tierra*, Colección Ecología y Medio Ambiente, LOM Ediciones, IEP, Santiago de Chile.
- WAKIDA, A.T., R. Ruiz y E. Amador, 2007. Amazon sailfin catfish, *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855) (Loricariidae), another exotic species established in Southeastern Mexico, *The Southwestern Naturalist*, Vol. 52, N° 1.
- WALLACE, L., 1879. *A Buffalo Hunt in Northern Mexico. Illustrated Magazine for the People*, Volume 17, Issue 5, March 1879. [http://memory.loc.gov/cgi-bin/query/r-ammem/ncpsbib:@field\(DOCID+@lit\(ABP7664-0017-117_bib](http://memory.loc.gov/cgi-bin/query/r-ammem/ncpsbib:@field(DOCID+@lit(ABP7664-0017-117_bib)
- WALKER, J., S. Veitch, T. Dowling, R. Braaten, L. Guppy y N. Herron, 2002. *Assessment of Catchment Condition. The Intensive Land Use Zone in Australia*, CSIRO-Land and Water Resources Research and Development, Australia. (Disponible en: www.affa.gov.au/catcon/)
- WALKER, J., T. Dowling y S. Veitch. 2006. An Assessment of Catchment Condition in Australia, *Ecological Indicators*, Volume 6(1): 205-214.
- WALLING, D.E. y A.L. Collins, 2008. The Catchment Sediment Budget as a Management Tool, *Environmental Science & Policy* 11: 136-143.
- WEIL, D., 2006. *Crecimiento Económico*, Pearson Adisson Wesley, España.
- WERNER, G., 1992. Suelos volcánicos endurecidos (tepetates) en el estado de Tlaxcala: distribución, rehabilitación, manejo y conservación, *Terra 10* (Número especial): 318-331.
- WET, Project, 2001. Descubre una cuenca: Río Grande/Río Bravo, S. Chisholm (ed.), Discover a Watershed Series, Worldwide Water Education for Teachers, Estados Unidos.
- WHITACRE, D.F., 1997. *Un programa de monitoreo ecológico para la Reserva de la Biosfera Maya*, Reporte a USAID-CONAP, The Peregrine Fund, Idaho, Estados Unidos.
- WILBY, R.L., H.Y. Dalglish e I.D.L. Foster, 1997. The Impact of Weather Patterns on Historic and Contemporary Catchment Sediment Yields, *Earth Surf. Proc. Landforms* 22: 353-363.
- WILCHES-CHAUX, G., 1993. La vulnerabilidad global, In: A. Maskrew (comp.), *Los desastres no son naturales*, La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 14-47. (Disponible en: <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>)
- WILCHES-CHAUX, G., 1994. El sentido de la participación, In: A. Lavell (comp.), *Viviendo en Riesgo. Comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina*, FLACSO-La Red, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, pp. 5-23. (Disponible en: http://www.desenredando.org/public/libros/1994/ver/ver_cap06-ESPVER_nov-20-2002.pdf)
- WILKERSON, S.J.K., The Usumacinta River: Troubles on a Wild Frontier, *Official Journal of the National Geographic Society*, Vol. 168, N° 4: 514-543, Washington, D.C.
- WILKERSON, S.J.K., 1986. *Damming the Usumacinta: The Archaeological Impact*, Institute for Cultural Ecology of the Tropics, pp. 514-543.
- WILKINSON, T., E. Wiken, J. Bezaury-Creel, T. Hourigan, T. Agardy, H. Herrmann, L. Janishevski, C. Madden, L. Morgan y M. Padilla 2009. *Marine Ecoregions of North America*, Commission for Environmental Cooperation. Montreal, Canadá.
- WISLIZENUS, A., 1848. *A Tour to Northern Mexico in 1846 and 1847, Connected to Doniphan's Expedition*, 30th Congress, 1st session, Miscellaneous N° 26, Washington, Tappin and Streeper, Printers.
- WONG, C.M., C. Williams, J. Pittock, U. Collier y P. Schelle, 2007. *World's Top 10 Rivers at Risk*, WWF International, Gland, Switzerland.
- WORLD COMMISSION OF DAMS (WCD), 2000. *Dams and Development. A New Framework for Decision-Making*, Earthscan Publications Ltd., London.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION-UNITED NATION CHILDREN FUND, 2000. *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report*. www.unicodef.org (Revisado: 16/07/2009).
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2008. *The Global Burden of Disease: 2004 Update*. http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/en/
- WORLD WATER COUNCIL, 2005. <http://www.worldwatercouncil.org/index.php?id=25> (Revisado: 17/03/2010).
- WRI, 2003. *Watersheds of North America: NA11 Río Grande*, World Resources Institute, IUCN, IWMI, Ramsar. http://multimedia.wri.org/watersheds_2003/na19.html
- WRIGHT, D.R. y R. Vela (eds.), 2005. *Tijuana River Watershed/Atlas de la cuenca del río Tijuana*, San Diego State University Press, Institute for Regional Studies of the Californias, El Colegio de la Frontera Norte.
- YÁNEZ-ARANCIBIA, A., 1986. *Ecología de la zona costera. Análisis de siete tópicos*, AGT Editor S.A., México, D.F.
- ZAMORA-ARROYO, F., P. Culp y O. Hinojosa-Huerta. 2006. Looking Beyond the Border: Environmental Consequences of the All-American Canal Project in Mexico and Potential Binational Solutions, en: Sánchez-Mungía, V. (ed.), *Lining the All-American Canal: Competition or Cooperation for the Water in the U.S.-Mexican Border*, San Diego State University Press, San Diego, California.
- ZAMORA-ARROYO, F., P.L. Nagler, M. Briggs, D. Radtke, H. Rodríguez, J. García, C. Valdés, A. Huete y E.P. Glenn, 2001. Regeneration of Native Trees in Response to Flood Releases from the United States into the Delta of the Colorado River, Mexico, *Journal of Arid Environments* 49: 49-64.
- ZAMORA-ARROYO, F., J. Pitt, S. Cornelius, E. Glenn, O. Hinojosa-Huerta, M. Moreno, J. García, P. Nagler, M. de la Garza e I. Parra, 2005. *Conservation Priorities in the Colorado River Delta, Mexico and the United States*, Preparado por Sonoran Institute, Environmental Defense, University of Arizona, Pronatura Noroeste, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) y World Wildlife Fund, Tucson, Arizona.
- ZAMUDIO, S. y M. de los A. Guadarrama, 1985. *La vegetación actual de la cuenca del río Usumacinta en el estado de Tabasco*, Secretaría de Educación, Cultura y Recreación, Dirección de Educación Superior e Investigación Científica, *Investigación Científica en la Cuenca del Usumacinta*, Vol. 1, N° 1, pp. 9-76.
- ZENGEL, S. y E. Glenn, 1996. Presence of the Endangered Desert Pupfish (*Cyprinodon macularius*, Cyprinodontidae) in Ciénega de Santa Clara, Mexico, Following an Extensive Marsh Dry-Down, *The Southwestern Naturalist* 41: 73-78.
- ZERMEÑO, D., 2008. *Análisis probabilístico de escenarios escalados de precipitación y temperatura bajo cambio climático en México*. Tesis de Maestría, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.



LISTA DE PARTICIPANTES

- ACOSTA, Eduardo, Comisión Nacional del Agua, (eduardo.acosta@conagua.gob.mx)
- AGUILAR, Verónica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, (vaguilar@xolo.conabio.gob.mx)
- ALTAMIRANO DEL CARMEN, Miguel Ángel, Instituto Nacional de Ecología, (maltamir@ine.gob.mx)
- ANZALDO GÓMEZ, Carlos, Consejo Nacional de Población, Dirección de Poblamiento y Desarrollo Regional Sustentable, (carlos.anzaldo@conapo.gob.mx)
- BANDO MURRIETA, Uriel, Instituto Nacional de Ecología, (ubando@ine.gob.mx)
- BARRÓN LÓPEZ, Eric Alan, Consejo Nacional de Población, Dirección de Poblamiento y Desarrollo Regional Sustentable, (eric.barron@conapo.gob.mx)
- BENÍTEZ TORRES, Jorge Arturo, Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche, (jabenitez@yahoo.com)
- BEZAURY CREEL, Juan, The Nature Conservancy, (jbezaury@tnc.org)
- BRIGGS, Mark, Fondo Mundial para la Naturaleza/World Wildlife Fund (WWF), Programa Desierto Chihuahuense, (mbriggs@wwfmex.org)
- BUNGE VIVIER, Verónica, Instituto Nacional de Ecología, (vbunge@ine.gob.mx)
- CARRILLO GUERRERO, Yamilett, Pronatura Noroeste, Programa de Conservación de Agua y Humedales
- CASO, Margarita, Instituto Nacional de Ecología, (mcasto@ine.gob.mx)
- CASTAÑEDA MARTÍNEZ, Aldo, Instituto Nacional de Salud Pública, (aldo.castaneda@insp.mx)
- CASTRO, Marco, The Nature Conservancy, (marco_castro@tnc.org)
- CLEGHORN, Amanda, Fondo Mundial para la Naturaleza/World Wildlife Fund (WWF), Programa Desierto Chihuahuense, (acleghorn@wwfmex.org)
- COTLER ÁVALOS, Helena, Instituto Nacional de Ecología, (hcotler@ine.gob.mx)
- CUEVAS, María Luisa, Instituto Nacional de Ecología, (lcuevas@ine.gob.mx)
- DAVYDOVA BELITSKAYA, Valentina, Servicio Meteorológico Nacional, (valentina.davydova@conagua.gob.mx)
- DE LA MAZA BENIGNOS, Mauricio, Fondo Mundial para la Naturaleza/World Wildlife Fund (WWF), Programa Desierto Chihuahuense, (mmaza@wwfmex.org)
- ENRIQUEZ GUADARRAMA, Carlos, Instituto Nacional de Ecología, (cenrique@ine.gob.mx)
- ESPINOSA GARCÍA, Ana Cecilia, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, (acespino@miranda.ecologia.unam.mx)
- FLORES VICHI, Felipe, Instituto Nacional de Ecología, (fvichi@ine.gob.mx)
- GANSTER, Paul, San Diego State University, (pganster@mail.sdsu.edu)
- GARRIDO PÉREZ, Arturo, Instituto Nacional de Ecología, (agarrido@ine.gob.mx)
- GONZÁLEZ TERRAZAS, Daniel Iura, Posgrado de Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, (trilobite75@hotmail.com)
- HERNÁNDEZ ÁVILA, Juan Eugenio, Instituto Nacional de Salud Pública, (juan_eugenio@insp.mx)
- HINOJOSA HUERTA, Osvel, Pronatura Noroeste, Programa de Conservación de Agua y Humedales, (ohinojosa@pronatura-noroeste.org)
- HOTH VON DER MEDEN, Jürgen, Fondo Mundial para la Naturaleza/World Wildlife Fund (WWF), Programa Desierto Chihuahuense, (jhoth@wwfmex.org)
- HURTADO DÍAZ, Magali, Instituto Nacional de Salud Pública, (mhurtado@insp.mx)
- KAUFFER MICHEL, Edith Françoise, Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS-Sureste), (ekauffer@ecosur.mx)
- KOLB, Melanie, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, (mkolb@xolo.conabio.gob.mx)
- KOLEFF, Patricia, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, (pkoleff@xolo.conabio.gob.mx)
- MACÍN PÉREZ, Ignacio, Consejo Nacional de Población, (ignacio.macin@conapo.gob.mx)
- MARCH MIFSUT, Ignacio, The Nature Conservancy, (imarch@tnc.org)
- MARTÍNEZ, Anuar, Fondo Mundial para la Naturaleza/World Wildlife Fund (WWF), Programa Desierto Chihuahuense.
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, Julia, Instituto Nacional de Ecología, (jmartine@ine.gob.mx)
- MARTÍNEZ, Ricardo, Comisión Nacional del Agua, (ricardo.martinez@conagua.gob.mx)
- MAZARI HIRIART, Marisa, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- MONTES, José Luis, Fondo Mundial para la Naturaleza/World Wildlife Fund (WWF), Programa Desierto Chihuahuense, (montes@wwfmex.org)
- OROPEZA OROZCO, Oralia, Instituto de Geografía, Departamento de Geografía Física, UNAM, (orooro@igiris.igeograf.unam.mx)
- ORTIZ PÉREZ, Mario Arturo, Instituto de Geografía, Departamento de Geografía Física, UNAM, (maop@igiris.igeograf.unam.mx)
- PARRA, Haydée, Fondo Mundial para la Naturaleza/World Wildlife Fund (WWF), Programa Desierto Chihuahuense, (hparra@wwfmex.org)
- PAZ, María Fernanda, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autónoma de México, (pazs@servidor.unam.mx)
- PÉREZ DAMIÁN, José Luis, Instituto Nacional de Ecología, (jldamian@ine.gob.mx)
- PETERS RECAGNO, Edward Michael, Instituto Nacional de Ecología, (edpeters@ine.gob.mx)
- PRADO LÓPEZ, Minerva, Consejo Nacional de Población, Dirección de Poblamiento y Desarrollo Regional Sustentable, (minerva.prado@conapo.gob.mx)
- RIOJAS RODRÍGUEZ, Horacio, Instituto Nacional de Salud Pública, (hriojas@insp.mx)
- RODRÍGUEZ, Alfredo, Fondo Mundial para la Naturaleza/World Wildlife Fund (WWF), Programa Desierto Chihuahuense, (arodriguez@wwfmex.org)
- ROSENGAUS, Michel, Servicio Meteorológico Nacional, (michel.rosengaus@conagua.gob.mx)
- RUIZ BEDOLLA, Karina, Instituto Nacional de Ecología, (kruiz@ine.gob.mx)
- SAAVEDRA, Fernando, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, (saave@flacso.edu.mx)
- SANTOS LUNA, René, Instituto Nacional de Salud Pública, (rsantos@insp.mx)
- SOTELO, Esthela I., Colegio de México, (esotelo@colmex.mx)
- THARME, Rebecca, The Nature Conservancy, Mexico, (rtharme@tnc.org)
- URQUIZA HAASS, Tania, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, (tania.urquiza@xolo.conabio.gob.mx)
- ZARCO ARISTA, Alba Esmeralda, Instituto Nacional de Ecología, (azaeco@ine.gob.mx)
- ZAPATA, Jenny, Fondo Mundial para la Naturaleza/World Wildlife Fund (WWF), Programa Desierto Chihuahuense, (jzapata@wwfmex.org)

LOS AUTORES DE ESTA OBRA AGRADECEMOS A LAS SIGUIENTES INSTITUCIONES
SU APOYO PARA LA REALIZACIÓN DE NUESTRO TRABAJO:



LAS CUENCAS

HIDROGRÁFICAS DE MÉXICO
DIAGNÓSTICO Y PRIORIZACIÓN

Se terminó de imprimir en diciembre de 2010 en los talleres de Exima S.A. de C.V. El cuidado de la impresión estuvo a cargo de Héctor Martínez Rojas y el tiraje fue de 1,000 ejemplares.