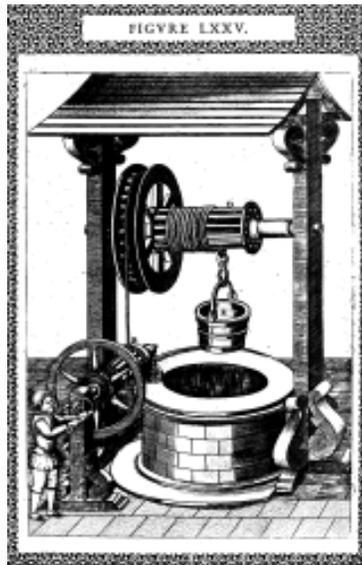


# La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala

ÁNGEL PRIEGO, HELENA COTLER,  
ALEJANDRA FREGOSO, NOEMÍ LUNA Y  
CARLOS ENRÍQUEZ GUADARRAMA



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios en la cobertura del suelo y la deforestación son importantes y necesarios porque proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada.

El acelerado crecimiento poblacional, aunado a las también crecientes expectativas de desarrollo, constituye una enorme presión de uso sobre los re-

ursos naturales. Esto no sólo se traduce en una intensificación de cultivos en zonas agrícolas, sino además estimula el sobrepastoreo, la extracción de leña y favorece la deforestación como mecanismo de expansión de la frontera agrícola, muchas veces hacia zonas marginales y con bajo potencial (Tangley 1987).

Tales problemas ambientales no sólo se reflejan en la pérdida y decrecimiento de los recursos naturales, sino también en la ocurrencia cada vez más fre-

cuenta de desastres que generan cuantiosos daños materiales y la pérdida de vidas humanas (Mateo y Ortiz 2001).

Una manera confiable para medir el grado de conversión ambiental antropogénica es a través del estudio de la dinámica espacio-temporal de la cubierta vegetal. Relacionado con esto, estudios realizados por Velázquez *et al.* (2002) señalan que la tasa de deforestación anual en México supera las 500,000 ha/año. Además de las pérdidas inevitables de diversidad biológica que esto genera, no se debe olvidar que la degradación de los suelos muchas veces también comienza con la alteración de la cubierta vegetal. Por ello, resulta de gran importancia comprender la dinámica de los recursos suelo y vegetación, pues el componente edafo-biógeno es el “espejo” por excelencia del paisaje.

Los análisis de cambio del uso del suelo pueden ser de gran utilidad a este propósito, puesto que permiten conocer las modificaciones en la cobertura natural debido al uso humano, así como la distribución e incremento (o decremento) de las tierras dedicadas a actividades antrópicas, ya sean productivas o como asentamientos humanos. Esclarecer los cambios de uso de las distintas superficies nos permite realizar inferencias válidas sobre los procesos actuales de asimilación socioeconómica y su probable compatibilidad al compararlos con los potenciales naturales.

Asimismo, el estudio del grado de antropización de la cobertura de uso actual nos facilita el conocimiento de cuáles unidades están más modificadas en su composición vegetal y su localización espacial. Este es un argumento válido en la elaboración de los planes de restauración ecológica.

La degradación de los suelos es otro tema fundamental en este contexto, que puede ser muy interesante cuando el análisis se hace teniendo en cuenta las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas, esto es, cabecera, captación-transporte y emisión,

pues el conocimiento del estado de conservación de la cobertura edáfica por zonas hidrofuncionales permite establecer medidas de recuperación de las cuencas dirigidas a restablecer el funcionamiento hidrológico del acuífero.

En este sentido, la cuenca Lerma-Chapala ha sufrido una elevada alteración enmarcada en el manejo inadecuado de sus ecosistemas, lo cual se refleja en el estado actual del sistema hidrográfico (Hansen y Afferden 2001).

El objetivo de este trabajo es contribuir al conocimiento de la dinámica ambiental de los paisajes geográficos<sup>1</sup> de la cuenca Lerma-Chapala, con énfasis en los siguientes aspectos: a) el cambio de uso del suelo durante el período 1976-2000; b) la antropización de la cobertura vegetal actual de los geocomplejos y c) los procesos de degradación de los suelos del territorio según las zonas de funcionamiento hidrográfico.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **CAMBIO DE USO DEL SUELO**

Los insumos cartográficos para el análisis del cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo provienen del *Inventario Nacional Forestal* (IGEO-INE 2002). El cuadro 1 presenta el sistema de clasificación seguido, así como los diferentes tipos de vegetación, uso del suelo y comunidades que incluyen los subsecuentes niveles de organización jerárquica para la cuenca Lerma-Chapala. El análisis de la información se hizo principalmente a nivel de formación, sin embargo, en el caso de las categorías: matorrales, bosques y selvas, el análisis se hizo a nivel de subformación. Lo anterior, con el fin de tener un mayor detalle en la conversión de estas categorías caracterizadas parcial o totalmente por especies arbóreas.

El análisis de la tasa de cambio de las coberturas de uso de suelo y vegetación durante el periodo 1976-

CUADRO 1. LEYENDA JERÁRQUICA DE VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO (1976 Y 2000)

USADA COMO INSUMO PARA EL ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DEL SUELO

FORMACIÓN/SUBFORMACIÓN	TIPO DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	COMUNIDAD Y OTRAS COBERTURAS
I. Cultivos	Agricultura (riego y humedad)	Agricultura de riego (incluye riego eventual)  Agricultura de humedad Riego suspendido Pastizal cultivado
	Agricultura (de temporal) Plantación forestal	Agricultura de temporal Plantación forestal
II. Bosques, primarios y secundarios	Coníferas	Bosque de oyamel (incluye ayarín y cedro) Bosque de pino Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)
	Latifoliadas Mesófilo de montaña	Bosque de encino Bosque mesófilo de montaña
III. Selvas primarias y secundarias	Perennifolia y subperennifolia	Selva baja caducifolia y subcaducifolia Matorral subtropical
IV. Matorrales, primarios y secundarios	Mezquital Matorral xerófilo	Mezquital (incluye huizachal) Matorral crasicaule Chaparral
V. Pastizal	Pastizal	Pradera de alta montaña Pastizal natural (incluye pastizal-huizachal)
VI. Vegetación hidrófila	Vegetación hidrófila	Pastizal inducido Popal-tular
VII. Otros tipos de vegetación	Otros tipos de vegetación	Vegetación halófila y gipsófila Área sin vegetación aparente
VIII. Otras coberturas	Asentamiento humano	Asentamiento humano
	Cuerpo de agua	Cuerpo de agua

2000 se realizó con la siguiente ecuación utilizada por FAO (1995).

$$T_c = \left( 1 - \frac{t_1 - t_2}{t_1} \right)^i - 1$$

En donde  $T_c$  es la tasa de cambio,  $t_1$  y  $t_2$  son las superficies de las coberturas de uso de suelo y vegetación en el tiempo inicial (1976) y tiempo final (2000) respectivamente. La variable  $t$  equivale a la amplitud del periodo analizado.

A través de aplicaciones de los sistemas de información geográfica (SIG) ArcInfo (ESRI 1999a) y ArcView (ESRI 1999b), se logró obtener la información sobre la vegetación y uso del suelo para ambos años (1976 y 2000) en cada polígono, lo cual facilitó conocer si hubo o no modificaciones en la cobertura vegetal en el tiempo analizado.

Para representar ambos momentos en un solo mapa, se empleó un sistema matricial como leyenda. En la que se puede apreciar en las filas la cobertura existente en 1976 y en las columnas la presente en el año 2000. El método de representación cartográfica es el fondo cualitativo.

#### ANTROPIZACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS PAISAJES

Para conocer el grado de alteración de la cobertura vegetal por unidades de paisajes, se calculó el índice de antropización propuesto por Shishenko (1988), cuya ecuación es la siguiente:

$$IACV = \frac{\sum_{i=1}^n r_i * A_{ij}}{AT_j}$$

donde:

$IACV$ : Índice de antropización de la cobertura vegetal del paisaje.

$r_i$ : Grado de transformación antropogénica de los paisajes del tipo  $i$  de utilización.

$A_{ij}$ : Área dedicada al tipo de utilización  $i$  en el geocomplejo  $j$ .

$AT_j$ : Área total del paisaje  $j$ .

Como información base se empleó el mapa de paisajes físico-geográficos (ver Priego y Morales en este mismo número) correspondiente al nivel jerárquico superior de los paisajes. El índice IACV permite conocer el grado de modificación que presenta la cobertura vegetal del geocomplejo, ponderando el grado de transformación por tipos de utilización. Shishenko (1988) propuso valores de ponderación válidos para la realidad de los paisajes rusos. Para el caso de la cuenca Lerma-Chapala se han modificado tales valores de ponderación como se aprecia en el cuadro 2, debido a que no coinciden los tipos de vegetación y uso del suelo. La ponderación varía entre 0.01 y 1.00 y su propósito es dar un peso relativo al tipo de vegetación en el siguiente sentido: vegetación natural-vegetación secundaria-vegetación cultural. A menor valor de ponderación significa una menor antropización de la cobertura vegetal y viceversa. Además, se observó la experiencia de Domínguez (2003) en el uso de este indicador para una provincia del centro de Cuba, puesto que este autor también tuvo que adaptar los valores de ponderación para dicho caso.

Con los resultados del cálculo del índice IACV por localidades de paisajes, se construyó un cartograma por el método de clases iguales, es decir, con la misma amplitud cuantitativa en cada clase.

#### DEGRADACIÓN DE SUELOS

La evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca Lerma-Chapala fue realizada por zonas hidrográficas funcionales (Pladeyra 2003) tomando como base la información generada por la SEMARNAT y el Co-

CUADRO 2. PONDERACIÓN DE LOS TIPOS DE VEGETACIÓN O USO DEL SUELO PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE IACV

TIPOS DE VEGETACIÓN O USO DEL SUELO	PONDERACIÓN DEL GRADO DE TRANSFORMACIÓN ANTROPOGÉNICA ( $r_i$ )
Agricultura de temporal	0.75
Agricultura de riego	0.75
Agricultura de humedad	0.75
Asentamiento humano	0.98
Bosque de encino; vegetación secundaria.	0.3
Bosque de encino; vegetación primaria y secundaria	0.1
Bosque de pino; vegetación primaria y secundaria	0.1
Bosque de pino; vegetación secundaria	0.3
Bosque de pino-encino; vegetación primaria y secundaria	0.1
Bosque de pino-encino; vegetación secundaria	0.3
Bosque mesófilo; vegetación primaria y secundaria	0.1
Matorral crasicaule	0.01
Matorral crasicaule secundario	0.3
Matorral subtropical	0.01
Matorral Subtropical secundario	0.3
Mezquital	0.01
Mezquital secundario	0.3
Pastizal cultivado	0.75
Pastizal inducido	0.4
Pastizal natural	0.01
Plantación forestal	0.4
Popal-tular	0.01
Pradera alta montaña	0.01
Agricultura de riego suspendido	0.75
Selva baja caducifolia primaria y secundaria	0.1
Selva baja caducifolia secundaria	0.3
Vegetación halófila y gipsófila	0.01
Sin cobertura vegetal aparente	0.01
Lagunas	0.03

legio de Posgraduados (2000) utilizando la metodología GLASOD (Evaluación de la Degradación del Suelo causada por el Hombre, por sus siglas en inglés) a escala 1:250,000. Dicha base de datos fue validada en campo, donde se identificaron los principales pro-

cesos de degradación, su intensidad, extensión y las relaciones de causa-efecto que se observaron entre algunos de los procesos. Posteriormente, la leyenda fue sintetizada y simplificada, usándose el fondo cualitativo para la representación cartográfica.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CAMBIO DE USO DEL SUELO

La cobertura vegetal y el uso de suelo que caracterizan la cuenca Lerma-Chapala son muy diversos. En términos de cobertura vegetal se reconocen bosques de coníferas, mesófilo de montaña, matorral de tipo xerófilo, vegetación hidrófila, selvas caducifolias y subcaducifolias, así como una amplia variedad y extensión de cultivos agrícolas, asentamientos humanos e importantes cuerpos de agua. Esta variedad en la cobertura vegetal y uso del suelo corresponde a una alta heterogeneidad del territorio en términos del relieve, suelos y clima.

A continuación se describen brevemente los principales cambios de vegetación y uso del suelo regis-

trados para la cuenca en el período 1976-2000, los cuales se muestran en el mapa 2 (encarte a color). En primer lugar, se abordan las clases que presentaron algún detrimento en la cobertura. En segundo lugar, se analizan las clases que presentan incremento con respecto al año 1976. En tercer lugar, se explican aquéllas que no presentaron cambios durante el período analizado. El resumen estadístico de este análisis se presenta en el cuadro 3.

El mapa a escala original 1:250,000 (Esquivel y Fre-goso 2003) se puede consultar en [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa\\_cambio.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa_cambio.html).

### CLASES QUE PRESENTAN DETRIMENTO EN SU COBERTURA

La subformación que presentó la tasa de cambio negativa más alta registrada en la cuenca es la cobertura vegetal de selva primaria. En este caso, el área registrada para 1976 fue de cerca de 2,214.32 km<sup>2</sup>, mientras que para el año 2000 se registraron 1,397.13 km<sup>2</sup>, representando una tasa de cambio de -0.019. Para esta subformación, se registraron cambios de cobertura hacia selvas secundarias, pastizales inducidos y cultivados así como para el uso de suelo de cultivos agrícolas.

Los bosques primarios son la segunda subformación con mayor tasa de cambio negativa registrada en la cuenca durante ese periodo. La subformación para 1976 se registraba con una cobertura boscosa de 5,162.50 km<sup>2</sup> y para el año 2000 una cobertura de 3,600.30 km<sup>2</sup>, lo que representa una tasa de cambio de -0.015. Los cambios registrados para esta subformación fueron hacia bosques secundarios, pastizales inducidos y cultivados así como para cultivos agrícolas.

La cobertura de pastizal natural presenta una tasa de cambio baja (-0.004): se registra que para el año 1976 este tipo de cobertura era de 3,067.77 km<sup>2</sup>, mientras que para el 2000 de 2,797.22 km<sup>2</sup>. El cambio en este caso se hizo a los pastizales inducidos y cultivados así como para los cultivos agrícolas.

CUADRO 3. CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA PARA EL PERÍODO 1976-2000

FORMACIÓN / SUBFORMACIÓN	1976		2000		1976-2000		TASA DE CAMBIO
	SUPERFICIE		SUPERFICIE		CAMBIO		
	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>2</sup> )	(%)	
Bosques primarios	5162.50	9.64	3600.30	6.72	-1562.20	-2.92	-0.015
Bosques secundarios	2233.22	4.17	3208.59	5.99	975.37	1.82	0.015
Cultivos	28294.87	52.81	28402.73	53.02	107.86	0.20	0.00
Matorral primario	810.64	1.51	592.58	1.11	-218.06	-0.41	-0.013
Matorral secundario	455.93	0.85	719.43	1.34	263.50	0.49	0.019
Pastizales naturales	3067.77	5.73	2797.22	5.22	-270.55	-0.50	-0.004
Pastizales inducidos y cultivados	5468.40	10.21	6227.11	11.62	758.71	1.42	0.005
Selvas primarias	2214.32	4.13	1397.13	2.61	-817.19	-1.53	-0.019
Selvas secundarias	3735.26	6.97	3836.27	7.16	101.01	0.19	0.001
Otras coberturas de vegetación	282.79	0.50	224.66	0.42	-58.13	-0.11	-0.010
Cuerpo de agua	1726.23	3.22	1629.86	3.01	-96.38	-0.18	-0.002
Asentamiento humano	139.37	0.26	955.44	1.78	816.07	1.52	0.084
Total	53591.32	100	53591.32	100			

La clase de otras coberturas referente a cuerpos de agua presentó un decremento de 96.38 km<sup>2</sup> (tasa de cambio -0.002). Durante el periodo 1976-2000 se registró un área de 1,726.23 y 1,629.86 km<sup>2</sup>, respectivamente. En el lago de Chapala, el cambio de cobertura ocurrió, principalmente, hacia cultivos y otras coberturas de vegetación.

#### CLASES QUE PRESENTAN INCREMENTO EN SU COBERTURA

La clase de asentamientos humanos es la cobertura que presenta la tasa de cambio más alta para la zona (0.084), lo que significa un incremento de 816.07 km<sup>2</sup>. Durante el periodo 1976-2000 se registró una cobertura de 139.37 km<sup>2</sup> y 955.44 km<sup>2</sup>, respectivamente.

La subformación de matorral secundario es una de las coberturas con tasa de cambio alta para este periodo (0.019), registrando un área de 455.93 km<sup>2</sup> y

719.43 km<sup>2</sup>, respectivamente. La subformación de bosque secundario presentó una tasa de cambio durante el periodo 1976-2000 de 0.015. Se registró un área de 2,233.22 km<sup>2</sup> y 3,208.59 km<sup>2</sup>, respectivamente. Los cambios fueron a pastizales secundarios, cultivos y en menor grado a bosques primarios.

La cobertura de pastizales inducidos y cultivados presenta una tasa de cambio de 0.005 para el periodo 1976-2000, con un incremento de 758.71 km<sup>2</sup> (5,468.40 y 6,227.11 km<sup>2</sup>, respectivamente). El cambio de la cobertura fue a cultivos agrícolas y en los casos donde dominó el proceso de sucesión natural, el cambio fue a bosques secundarios y selvas secundarias.

#### CLASES CON TASA DE CAMBIO CERO

En el presente estudio se registraron dos coberturas con tasa de cambio cero, lo que significa que las mismas áreas analizadas durante 1976 y 2000 perma-

necieron bajo el mismo tipo de cobertura vegetal o uso del suelo. Sin embargo, esto no excluye que otros usos de suelo o coberturas de vegetación se hayan anexado durante el año 2000 a estas coberturas que presentan tasa cero.

La única cobertura que presentó el patrón de tasa de cambio cero fue el uso de suelo cultivo agrícola. El área registrada para 1976 era de 28,294.87 km<sup>2</sup>, mientras que para el año 2000 se registró un área de 28,402.73 km<sup>2</sup>. En este caso, las áreas anexadas a este uso del suelo para el año 2000 provienen de clases tales como, selvas secundarias, pastizales naturales y pastizales inducidos y cultivados, es decir, que entre 1976 y 2000 la frontera agrícola ha continuado extendiéndose.

#### ANTROPIZACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS PAISAJES

En el mapa 3 (encarte a color) se presenta el resultado cartográfico del cálculo del índice de antropización de la cobertura vegetal. El mapa a escala original 1:250,000 (Priego y Enriquez 2003) puede ser desplegado en [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa\\_antropi-zacion.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa_antropi-zacion.html). Los resultados indican que la cuenca Lerma-Chapala presenta un elevado grado de modificación en su cobertura vegetal, lo cual también se aprecia en la figura 1.

Las definiciones de los diferentes grados de antropización encontrados son las siguientes:

- Muy bajo ( $IACV \leq 0.20$ ). Geosistemas que mantienen la cobertura vegetal en estado natural o seminatural (vegetación secundaria) en más de 90% del área total. Menos de 10% del uso del suelo del geocomplejo se emplea para actividades agropecuarias y no poseen infraestructura urbana o industrial.
- Bajo ( $0.21 \leq IACV \leq 0.40$ ). Geosistemas que mantienen la cobertura vegetal en estado natural o

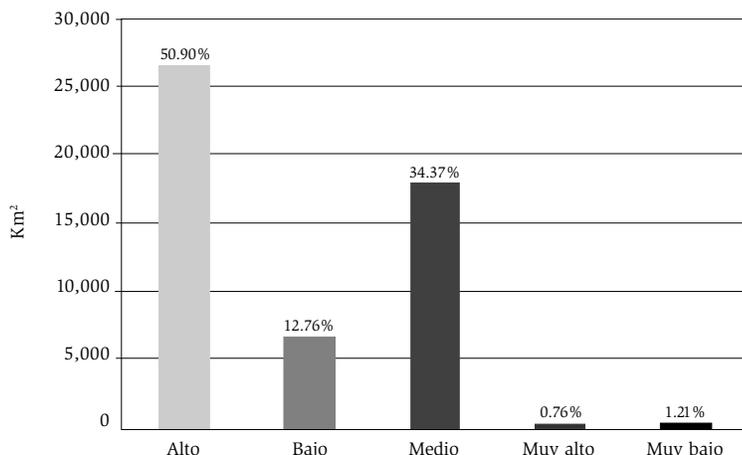
seminatural (vegetación secundaria) en 65-70% del área total. Aproximadamente 30% del uso del suelo del geocomplejo se emplea para actividades agropecuarias o forestales y poseen infraestructura urbana o industrial en menos de 1% del territorio.

- Medio ( $0.41 \leq IACV \leq 0.60$ ). Geosistemas que mantienen la cobertura vegetal en estado natural o seminatural (vegetación secundaria) en 40-50% del área total. Aproximadamente 50-60% del uso del suelo del geocomplejo se ocupa para actividades agropecuarias o forestales y poseen infraestructura urbana o industrial en menos de 1% del territorio.
- Alto ( $0.61 \leq IACV \leq 0.80$ ). Geosistemas que mantienen la cobertura vegetal en estado natural o seminatural (vegetación secundaria) en aproximadamente, 15% del área total. Entre 80-85% del uso del suelo del geocomplejo se emplea para actividades agropecuarias o forestales y poseen infraestructura urbana o industrial hasta en 3% del territorio.
- Muy alto ( $IACV \geq 0.81$ ). Geosistemas que mantienen la cobertura vegetal en estado natural en menos de 0.30% del área total. Más de 97% del uso del suelo del geocomplejo se emplea para actividades agropecuarias y poseen infraestructura urbana o industrial en 2-3% del territorio.

En la cuenca predominan ampliamente las superficies con alto grado de antropización, las cuales abarcan 50% del territorio; siguiendo las áreas con grados medio y bajo y, finalmente los valores extremos apenas alcanzan 2% entre ambos (muy alto y muy bajo).

Esta situación es preocupante porque de mantenerse los patrones actuales de uso del suelo, cabría esperar en el mediano plazo la transformación de áreas de categoría media a alta y de alta a muy alta en una región ya deteriorada en extremo.

FIGURA 1. HISTOGRAMA DE FRECUENCIA DE LOS GRADOS DE ANTROPIZACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL



Las áreas con muy bajo grado de antropización se restringen a zonas montañosas de difícil acceso y se presentan dispersas en el área, por ejemplo, en la Sierra de Guanajuato y en el Nevado del Toluca. Son geosistemas que conservan la cobertura vegetal natural en aproximadamente 23% del área total. Sin embargo, en los mismos predominan parches de vegetación donde se mezclan estadios sucesionales primarios y secundarios (acahuales) en más de 48% de la superficie total (cuadro 4) y que no presentan

infraestructura urbana o industrial importante a la escala 1:250,000.

Las superficies con bajo grado de antropización ocupan zonas de lomeríos y montañas y abarcan, aproximadamente, 600 km<sup>2</sup> (13% del área total, ver figura 1). Aquí la actividad agropecuaria puede ascender a casi 30% del territorio, pero lo más preocupante es que un tercio del geocomplejo está ocupado por acahuales y casi la misma proporción presenta parches de vegetación mixtos, o sea, zonas donde

CUADRO 4. COMPOSICIÓN (%) DE LOS DISTINTOS GRADOS DE ANTROPIZACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DEL PAISAJE

GACV	VEGETACIÓN NATURAL	VEGET. NATURAL SECUNDARIA	VEGETACIÓN SECUNDARIA	PRODUCCIÓN FORESTAL	CULTIVOS	PASTOS	I.U.I.	TOTAL
Muy bajo	22.9	48.18	19.09	0	2.82	7.01	0	100
Bajo	14.46	25.4	29.2	0.14	16.62	13.85	0.33	100
Medio	11.14	9.08	22.36	0.12	39.76	16.88	0.66	100
Alto	6.98	0.71	6.9	0.05	73.88	8.48	3.00	100
Muy alto	0.26	0	0	0	96.79	0.74	2.21	100

GACV: Grado de antropización de la cobertura vegetal. I.U.I.: infraestructura urbana e industrial.

aparecen polígonos de vegetación primaria y secundaria juntos (cuadro 4, página anterior).

Esto indica que de mantenerse los patrones actuales de asimilación socioeconómica, cabría esperar un incremento significativo de la vegetación secundaria en el mediano plazo, lo cual puede desplazar geosistemas de esta categoría hacia grados más modificados, en detrimento de la conservación de la biodiversidad.

Los geosistemas con nivel de antropización medio ocupan el segundo lugar en extensión (ver figura 1) con más de 17,500 km<sup>2</sup> y abarcan, aproximadamente, 34% del territorio. Más de 56% del uso del suelo en estos geocomplejos corresponden a actividades agropecuarias.

Estas áreas se distribuyen indistintamente por toda la cuenca (ver mapa 2 en el encarte a color) y ocupan por igual zonas montañosas, de lomeríos y llanuras. El cuadro 4 permite comprobar cómo estas unidades constituyen la zona de “ruptura” entre los geosistemas más modificados y los menos modificados. Esto señala que en estos geocomplejos sería importante y prioritario implementar proyectos de restauración ecológica, pues están aún en situación favorable para, de lograrse con éxito estos proyectos, incorporar extensiones significativas de territorio a las categorías de menor antropización.

La categoría de alto grado de antropización es la más importante de la cuenca en extensión superficial, pues ocupa casi 51% del área con más de 27,000 km<sup>2</sup> (ver figura 1). Se caracteriza por el amplio predominio de la actividad agropecuaria y, al mismo tiempo, adquiere mayor importancia la infraestructura urbana e industrial que aquí puede llegar al 3% del área total.

Se distribuye por todo el territorio de la cuenca sin distinciones morfométricas del relieve, es decir, sin importar que el territorio sea montañoso, de lomeríos o llanuras. El cuadro 4 ilustra el cambio drástico que ocurre en el uso del suelo, donde ya es poco

importante la participación de la vegetación natural y seminatural.

Lo anterior indica la necesidad de mantener un mínimo de funcionamiento natural en estos territorios, donde debieran priorizarse, entre otros, corredores ecológicos como los valles fluviales, áreas de cabeceras de cuencas y zonas buffer alrededor de los sistemas lacustres, para tratar de mantener cierta conexión ecológica con las zonas menos modificadas.

El diseño de tales áreas no debe hacerse en detrimento de las zonas que ya han sido asimiladas, es decir, no se debe tratar de desincorporar áreas actuales de uso agropecuario, sino mantener las óptimas y permitir la conservación en fajas de valles fluviales o de zonas perilacustres que garanticen cierta continuidad con las superficies menos modificadas.

Las superficies con muy alto grado de antropización de la cobertura vegetal ocupan 1.21% del territorio (ver figura 1) y poseen distribución espacial muy restringida (ver mapa 2 del encarte a color). Básicamente, se presenta en los alrededores del corredor agroindustrial que comienza en Toluca y al oriente del lago de Chapala. Estas áreas se caracterizan por la fuerte asimilación socioeconómica a la que han sido sometidas (ver Cardona en este mismo número), pues sólo 0.26 % del área está ocupada por vegetación natural y el resto pertenece a zonas agropecuarias y de infraestructura urbana o industrial (cuadro 4).

Siendo geocomplejos con tan significativa antropización, aquí valdría la pena prestar atención a las “zonas verdes” dentro de las áreas urbanas y a la creación de parques periurbanos como formas de mejorar el entorno ecológico. Sin embargo, es importante modificar los patrones actuales de asimilación, de manera que no se incrementen estas superficies en el futuro cercano, es decir, no se deben facilitar patrones de uso de los recursos que impliquen un incremento en los paisajes de esta categoría.

## DEGRADACIÓN DE SUELOS

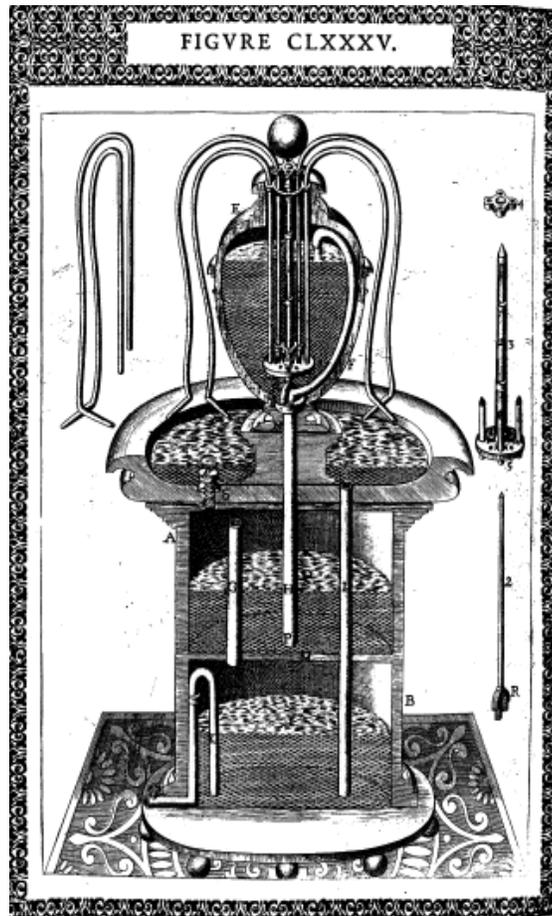
La degradación de suelos se refiere a los procesos inducidos por el hombre que disminuyen la capacidad actual y/o futura del suelo para sostener la vida humana (Oldeman 1998). Los fenómenos de degradación merman la calidad de los suelos, entendida ésta como la capacidad de un específico tipo de suelo para funcionar, dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado para sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua y sostener la salud humana (Doran y Parkin 1994).

La degradación de los suelos, en su sentido más amplio, está relacionada con el régimen climático, las condiciones geomorfológicas y las características intrínsecas de los suelos pero, sobre todo, con la deforestación, el establecimiento de sistemas agropecuarios inapropiados y el impacto que causan las políticas públicas en el medio ambiente.

El mapa 4 (encarte a color) presenta estos procesos para el caso de la cuenca Lerma-Chapala, según zonas de funcionamiento hídrico. La cartografía a escala original 1:250,000 puede ser desplegada y consultada en [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa\\_degradacion.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa_degradacion.html).

Los principales procesos de degradación que ocurren en el área de estudio pueden englobarse en los siguientes temas:

- i. Erosión hídrica superficial. Este proceso implica una remoción de parte del horizonte superficial del suelo mediante escurrimientos no concentrados.
- ii. Erosión hídrica con cárcavas, es decir, remoción concentrada del suelo.
- iii. Erosión eólica (que incluye los procesos de pérdida superficial del suelo, la deformación del terreno y el efecto fuera del sitio por erosión eólica), remoción de partículas sueltas del suelo por acción del viento.



- iv. Declinación de la fertilidad, decrecimiento neto de nutrientes y materia orgánica disponibles en el suelo que provocan una disminución de la productividad.
- v. Polución: localización, concentración y efecto biológico adverso de una sustancia por diversas fuentes como tiraderos de basura, derrames, residuos industriales, etc., y
- vi. Salinización/alcalinización: considerado como un incremento neto en el contenido de sales en el suelo.

Como efecto del cambio de uso del suelo y prácticas agropecuarias inadecuadas, entre otros factores, más del 72% de la cuenca presenta algún proceso de degradación de suelos. Entre los procesos de

CUADRO 5. PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA

PROCESO DE DEGRADACIÓN	SUPERFICIE	
	Km <sup>2</sup>	%
Erosión hídrica superficial	12 756.76	32.77
Erosión hídrica con cárcavas	970. 68	2.49
Erosión eólica	1083.84	2.78
Declinación de la fertilidad	22155.36	56.93
Polución	899.16	2.31
Salinización	1055.49	2.71
Total	38 917.31	72.61

degradación con mayor distribución (cuadro 5) se encuentran la declinación de la fertilidad (que representa 56.9% de los procesos) y la erosión hídrica superficial (32.7%), los cuales en conjunto abarcan casi el 90% de los procesos de degradación presentes en la cuenca Lerma-Chapala.

La importancia de estos procesos de degradación y el impacto que desencadenan se rigen por las funciones del suelo en cada una de las zonas funcionales de la cuenca (Brady y Weil 1999, Cotler 2003b). En el cuadro 6 se presentan los procesos de degradación de suelos en función de su ubicación en las zonas de cabecera, captación-transporte y emisión de la cuenca. En la zona de cabecera, cuya función esencial constituye la recarga de los acuíferos y de los cursos de agua (Brooks *et al.* 1997), predomina el de erosión hídrica de suelos. Este proceso involucra la compactación y/o encostramiento de la superficie del suelo que disminuye la capacidad de infiltración, lo cual determina un mayor escurrimiento superficial a expensas del flujo sub-superficial y subterráneo. En la zona de captación-transporte, donde se realizan las principales actividades agrícolas, el proceso de declinación de la fertilidad ocupa el 60% del área. Los sistemas de producción agrícolas se caracterizan por ser altamente mecanizados, con utilización de

insumos químicos que mantienen monocultivos de cereales. El reconocimiento en campo muestra procesos de compactación a aproximadamente 20 cm de profundidad (conocido como el “piso de arado”) que se reflejan en un aumento de la densidad aparente, por acción intensa de labranza con maquinaria y disminución de incorporación de abono orgánico al suelo.

En la zona de emisión, zona natural de acumulación de sedimentos, nutrientes y materia orgánica, el proceso de declinación de la fertilidad es también dominante (casi 63%) del área.

La distribución de estos procesos de degradación (figura 2) responde claramente a sus principales factores desencadenadores. Así, los procesos de erosión hídrica superficial son dominantes en la zona de cabecera, donde el cambio de uso del suelo en fuertes pendientes aumenta la susceptibilidad del suelo al impacto de las gotas de lluvia. A medida que el ángulo de las pendientes va disminuyendo hacia la zona de emisión, el proceso de erosión hídrica superficial también disminuye.

De manera inversa, la declinación de la fertilidad aumenta de la zona de cabecera hacia la zona de emisión. Como explicamos anteriormente, este proceso se encuentra estrechamente ligado con aque-

CUADRO 6. UBICACIÓN DE LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE SUELOS SEGÚN ZONA FUNCIONAL DE LA CUENCA

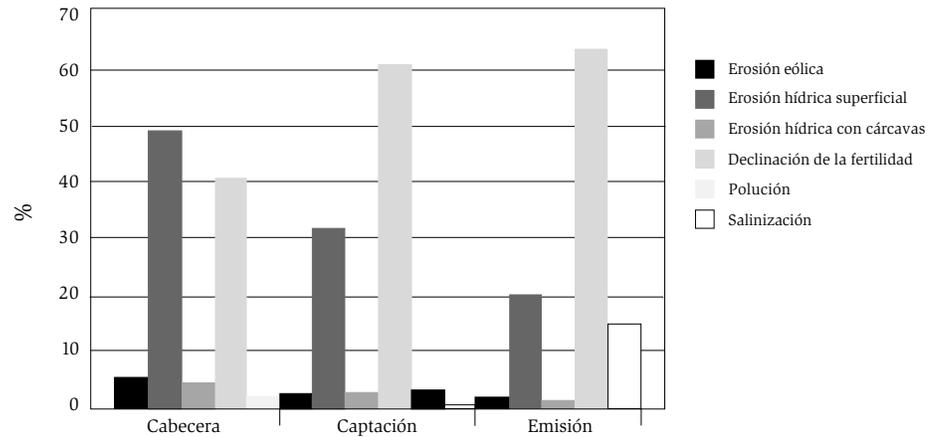
ZONAS HIDRO-FUNCIONALES	PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE SUELOS	ÁREA (KM <sup>2</sup> )
Cabecera	Erosión eólica	356.32
	Erosión hídrica superficial	3,427.86
	Erosión hídrica con cárcavas	309.07
	Declinación de la fertilidad	2,843.60
	Polución	141.37
	Total para la zona de cabecera	7,078.12
Captación-transporte	Erosión eólica	617.05
	Erosión hídrica superficial	8,180.26
	Erosión hídrica con cárcavas	614.51
	Declinación de la fertilidad	1,5661.91
	Polución	757.78
	Salinización	205.86
Total para la zona de captación-transporte	26,037.37	
Emisión	Erosión eólica	110.46
	Erosión hídrica superficial	1,144.63
	Erosión hídrica con cárcavas	47.09
	Declinación de la fertilidad	3,649.84
	Salinización	849.62
	Total para la zona de emisión	5,801.64

llos sistemas de producción altamente mecanizados, los cuales se dan principalmente en laderas, colinas y llanuras de pendiente menores a 5°. Los procesos de salinización aumentan en la zona de emisión, donde se acumula el escurrimiento superficial y sub-superficial con concentración de sales que podrían provenir de los agroquímicos utilizados en la agricultura de las zonas de cabecera y captación-transporte. En este sentido, la zona de emisión presenta una mayor extensión afectada por este proceso de degradación. Las áreas afectadas por la polución se encuentran en una pequeña extensión tanto en las zonas de cabecera como en la captación-transporte.

## CONCLUSIONES

El desarrollo económico fomentado dentro de la cuenca Lerma-Chapala y en su área de influencia (ver Cardona en este mismo número) originó un deterioro de los recursos naturales. Una expresión clara de esta situación es el cambio de uso de la tierra donde la evidente pérdida de vegetación natural y cuerpos de agua modifican el ciclo hidrológico, alteran el funcionamiento de la cuenca, disminuyen la existencia de vasos reguladores ante situaciones hidroclimáticas extremas e incrementan los problemas de degradación de suelos, entre otros procesos.

FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN DE LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN DE SUELO EN LAS ZONAS FUNCIONALES DE LA CUENCA LERMA-CHAPALA



Durante el período 1976-2000 se registró una disminución de 754 km<sup>2</sup> de selvas y 1,151 km<sup>2</sup> de bosques, a favor de la expansión de áreas de cultivos, pastizales cultivados e inducidos, matorrales y bosques secundarios.

En más de 50% de los paisajes del área se observa un elevado grado de modificación de la cobertura vegetal. En ellos la vegetación natural o seminatural es mantenida en aproximadamente 15% de su área total, mientras que 80-85% de la misma se emplea para actividades agropecuarias o forestales y poseen infraestructura urbana o industrial hasta en 3% del territorio.

Las áreas con categorías de nivel bajo y medio de antropización de la cobertura vegetal son muy importantes, pues en ellas pudieran implementarse proyectos de ecorehabilitación para mejorar las condiciones ecológicas actuales. Para las superficies con muy alto grado de antropización son más importantes los proyectos que impulsen la creación de “zonas verdes” al interior de las zonas urbanas y de parques en las periferias urbanas.

La disminución de la vegetación natural, especialmente en zonas de cabecera y el incremento de áreas de cultivos, en superficies poco aptas para

ello, con sistemas agrícolas extractivos y altamente mecanizados, ocasionan problemas de degradación de suelos. Así, cerca del 73% de los suelos de la cuenca presentan algún tipo de degradación. En la zona de cabecera de la cuenca, la erosión hídrica superficial afecta cerca del 27% de esta área, disminuyendo la capacidad de infiltración de los suelos y, por ende, menguando la función de recarga de esta zona. En la zona de captación-transporte, el proceso de declinación de la fertilidad abarca 49% del área, donde la compactación y el bajo contenido de materia orgánica, dificultan el crecimiento y desarrollo de los cultivos de los principales distritos de riego asentados en esa zona. Este proceso, junto al de salinización, afecta también la parte baja de la cuenca.

Debe prestarse atención a los patrones de uso de los recursos y a las políticas públicas que rigen los mismos, porque de mantenerse las tendencias actuales, pudiera reportarse un incremento en las unidades de mayor modificación de la cobertura vegetal, lo que sin duda, favorecerá una mayor degradación de los suelos en detrimento de la conservación de la biodiversidad y un empeoramiento en las condiciones de vida de la población.

## NOTA

1 Los paisajes geográficos también se denominan como complejos territoriales naturales, geosistemas y geocomplejos.

## BIBLIOGRAFÍA

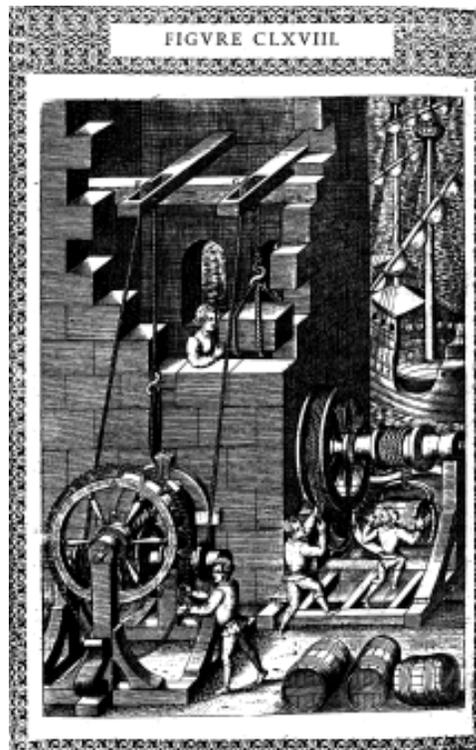
- Brady, C.N. y R.R. Weil 1999. *The nature and properties of soils*. Decimo segunda edición. Prentice Hall. 881 pp.
- Brooks K., F.P Ffolliott, M.H Gregersen y F.L DeBano 1997. *Hydrology and the management of watersheds*, Segunda edición. Panima Pu. Co. 501 pp.
- Cotler, H. 2003a. Degradación de suelos en la cuenca Lerma-Chapala, México a escala 1:250 000. Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAT. [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa\\_degradacion.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa_degradacion.html).
- Cotler, H. 2003b. El uso de la información edáfica en los estudios ambientales. *Gaceta ecológica* 68: 33-42.
- Domínguez, A. 2003. Análisis y diagnóstico geoecológico de los paisajes naturales en la provincia Sancti Spíritus, Cuba. Tesis Doctoral. Facultad de Geografía de la Universidad de la Habana (Inédita).
- Doran, J.W. y T.B Parkin 1994. Defining and assessing soil quality. En: Doran J.W., D.C. Coleman, D.C Bezdicsek y B.A. Stewart (eds.). *Defining and assessing soil quality for sustainable environment*. Soil Science Society of America. Special Publication 35. Madison Wisconsin. Pp. 3-21.
- Esquivel, N. y A. Fregoso 2003. Cambio del uso del suelo en la Cuenca Lerma-Chapala, México en el período 1976-2000 a escala 1:250,000. Instituto Nacional de Ecología de la Semarnat. [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa\\_cambio.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa_cambio.html).
- ESRI 1999a. Arc Info Ver. 8.1, GIS. Environmental Systems Research Institute, Inc.
- 1999b. Arc View Ver. 3.3, GIS. Environmental Systems Research Institute, Inc.
- FAO 1995. Forest resources assessment 1990 Global synthesis FAO Forestry Paper 124 Roma. 44 pp.
- Hansen, A.M. y M. Van Afferden 2001. *The Lerma-Chapala Watershed Evaluation and Management*. Kluwer, Holanda.
- IGEO-INE 2002. Inventario Nacional Forestal a escala 1:250,000. Instituto de Geografía de la UNAM e Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAT. [mapas.ine.gob.mx/website/c\\_us/](http://mapas.ine.gob.mx/website/c_us/).
- Mateo, J. y M.A. Ortiz 2001. *La degradación de los paisajes como concepción teórico-metodológica*. Serie Varia, nueva época, No. 1. Instituto de Geografía, UNAM, México. 40 pp.
- 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, 151 pp.
- PLADEYRA 2003. Paisajes hidrológicos de la cuenca Lerma-Chapala, México a escala 1:250,000. Planificación, Desarrollo y Recuperación Ambiental, S. C. [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa\\_paisahidro.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa_paisahidro.html).
- Priego, A. y C. Enriquez 2003. Antropización de la cobertura vegetal del paisaje en la cuenca Lerma-Chapala, México a escala 1:250 000. Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAT. [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa\\_antropizacion.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa_antropizacion.html).
- Priego, A. y H. Morales 2003. Paisajes físico-geográficos a escala 1:250 000, nivel jerárquico superior en la cuenca Lerma-Chapala, México. Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAT. [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa\\_paisajefis.html](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/mapa_paisajefis.html)
- SEMARNAT-Colegio de Posgraduados 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000. Memoria Nacional, SEMARNAT-Colegio de Posgraduados, México. 58 pp.
- Shishenko, P.G. 1988. *Estabilidad de los paisajes a las cargas económicas*. Geografía Física Aplicada. Editorial de la Escuela Superior, Kiev, Ucrania. 195 pp.
- Tangley L. 1987. Fighting Central America's other war. *Bioscience* 37(11): 772-777.

Velázquez, A., J.F. Mas, J.R. Diaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C., Alcántara P.C., R., Castro, T. Fernández, G. Bocco y J.L. Palacio 2002. Patrones y tasas de cambio del uso del suelo en México. *Gaceta ecológica* 62: 21-37. INE, SEMARNAT, México.

Velázquez, A., E. Durán, I. Ramírez, J.F. Mas, G. Bocco, G. Ramírez y J.L. Palacio 2003. Land use-cover change

processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico. *Global Environmental Change* 13:175-184.

WRI 1999. *Informe sobre el estado mundial del medio ambiente*. World Resources Institute, Washington D.C. [www.worldresources/environment.html](http://www.worldresources/environment.html).



---

**Ángel G. Priego Santander.** Instituto de Geografía, UNAM. Correo-e: [agpriego@igiris.igeograf.unam.mx](mailto:agpriego@igiris.igeograf.unam.mx).  
**Helena Cotler.** Directora en Manejo Integral de Cuencas Hídricas, INE. Correo-e: [hcotler@ine.gob.mx](mailto:hcotler@ine.gob.mx).  
**Alejandra Fregoso.** Jefa de Departamento de Medio Biótico en Cuencas, INE. Correo-e: [fregoso@ine.gob.mx](mailto:fregoso@ine.gob.mx).  
**Noemí Luna.** Responsable de los Sistemas de Información Geográfica, INE. Correo-e: [nluna@ine.gob.mx](mailto:nluna@ine.gob.mx).  
**Carlos Enriquez Guadarrama.** Jefe de Departamento del Medio Físico Regional y Local, INE. Correo-e: [cenrique@ine.gob.mx](mailto:cenrique@ine.gob.mx).