

Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México

Fernando Antonio Rosete Vergés,¹ José Luís Pérez Damián² y Gerardo Bocco³

Resumen

Los autores analizan el cambio de uso de suelo y de vegetación en la Península de Baja California, al nivel de tipo de vegetación de 1978 a 2000 a escala 1:250,000. Se realizó un análisis espacial en ambiente de SIG para identificar los cambios. Se elaboró una matriz de transición y se agruparon los cambios encontrados en tres procesos principales: desmatorralización, recuperación y crecimiento de manchas urbanas (como un indicador de urbanización). En el periodo analizado (22 años) se dan cambios en el 7.7 % del territorio peninsular. Los procesos de desmatorralización y urbanización son más intensos en la zona norte de la Península, mientras que la recuperación es mayor en la zona sur. La desmatorralización para actividades agropecuarias es la más importante. El crecimiento de la mancha urbana es el proceso menos importante, pero durante el periodo analizado la superficie ocupada por los asentamientos humanos se incrementó en casi un 270 %.

Palabras clave

Cambio de uso del suelo, Baja California, procesos de cambio, desmatorralización.

¹ Instituto Nacional de Ecología. Periférico # 5000. 2º piso. Col. Insurgentes-Cuicuilco. Delegación Coyoacán. CP. 04530. México, D. F. Correo-e: frosete@ine.gob.mx.

² Instituto Nacional de Ecología. Periférico # 5000. 2º piso. Col. Insurgentes-Cuicuilco. Delegación Coyoacán. CP. 04530. México, D. F. Correo-e: jldamian@ine.gob.mx.

El presente artículo es una versión modificada del publicado en la revista *Investigaciones Geográficas* 67:39-58, de diciembre de 2008.

Abstract

This work analyzed the land use change in the Baja California Peninsula, at the level of vegetation types. The time period analyzed was 1978 to 2000 at 1:250,000 scale. The spatial analyses were carried out in a GIS environment to identify the changes. A transition matrix was elaborated and the changes detected were grouped in three major processes: scrubland depletion (deforestation of woody vegetation), recovery of natural vegetation cover, and urban growth. In the time period analyzed (22 years) 7.7 % of the territory underwent land use changes. The deforestation and urban growth processes were more dynamic in the northern part of the Peninsula, while recovery was more relevant in the south zone. The deforestation of scrubland for agriculture activities is the main process. The urban growth, in absolute terms, is the least important in the time period analyzed; however, the surface occupied for human settlements increased in almost 270 %.

Key words

Land use change, Baja California, scrubland depletion, urban growth.

³ Centro de Investigación en Geografía Ambiental. Unidad Académica Morelia. UNAM. Antigua carretera a Pátzcuaro # 8701. Col. Ex-hacienda San José de la Huerta. CP. 58190. Morelia, Michoacán. Correo-e: gbocco@ciga.unam.mx.

INTRODUCCIÓN

El paisaje es un ente dinámico en términos de los patrones espaciales, estructurales y funcionales (Dunn *et al.*, 1991; Forman, 1995; Hobbs, 1997). El conjunto de componentes espaciales del paisaje está condicionado por la combinación de factores biofísicos y socioeconómicos (Fernández *et al.*, 1992; Zonneveld, 1995) que confluyen en el territorio. En la escala temporal de décadas, las actividades humanas que impactan el uso de suelo¹ son el factor principal en la forma que adoptan los cambios del paisaje. Algunos de ellos son provocados por prácticas específicas de manejo y otros por las fuerzas sociales, políticas y económicas que controlan los usos de suelo (Medley *et al.* 1995; Pan *et al.* 1999). Los cambios temporales en el paisaje inducidos por el hombre afectan tanto los procesos bióticos como los abióticos (Forman, 1995; Farina, 1998). Las características de la forma en que se usa el suelo son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales y humanos. Al influir el ser humano en el ambiente para producir bienes y servicios, el uso del terreno (o uso del suelo como se le conoce en México) se convierte en la principal causa de pérdida de diversidad biológica, funciones ecológicas y de la alteración del ciclo hidrológico.

Los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo se encuentran en el centro de la atención de la investigación ambiental actual (Bocco *et al.* 2001), debido a las implicaciones que éstos conllevan con relación a la pérdida de hábitat, de diversidad biológica, servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas (Dunjó *et al.* 2003; Milesi *et al.* 2005; Heistermann *et al.* 2006), además de ser reconocido como el factor más importante del cambio global (Xiao *et al.* 2006) y representar la segunda fuente antropogénica de CO₂ a la atmósfera (Campos *et al.* 2004). Según Lambin (1997), la mayor parte de los cambios ocurridos en ecosistemas terrestres se debe a: 1) conversión de la cobertura del terreno, 2) degradación del terreno y 3) intensificación en el uso del terreno. Estos procesos, que usualmente se engloban en lo que se conoce

como deforestación o degradación forestal, se asocian a impactos ecológicos importantes en prácticamente todas las escalas.

El cambio en la cobertura y uso del suelo es un tema que unifica las diferentes dimensiones del cambio ambiental global (Manson 2006), por lo que su estudio tiende a la interdisciplinariedad al incorporar conceptos, información y metodologías de diferentes áreas del conocimiento.

Las actividades humanas han sido reconocidas como las principales fuerzas que transforman la biosfera, así como responsables de la mayoría del cambio contemporáneo en los paisajes (Skole *et al.* 1994; Kummer y Turner II 1994; Meyer y Turner II 1994; Foster *et al.* 1999). La mayoría de los cambios experimentados en los ecosistemas terrestres son producidos por la conversión del uso del suelo o por la intensificación del uso y la degradación subsecuente de la tierra (Lambin 1994; Lambin y Geist 2006). La deforestación y la presión humana sobre la tierra para la producción de cultivos y la mecanización desmedida son las principales causas de la degradación de la tierra, que genera erosión del suelo, cambios en los ecosistemas y deslizamientos de tierra (Chikhaoui *et al.* 2005).

En México, estudiar la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo es una tarea prioritaria (Bocco *et al.* 2001). Los datos obtenidos por Masera *et al.* (1997) así como los más recientes a nivel regional (UNEP 2007), indican que nuestro país se encuentra entre los países con mayor deforestación a nivel mundial. Entender el impacto que ocasiona el cambio de uso y cobertura del terreno, significa estudiar factores ambientales y socioeconómicos. Sin embargo, no existen análisis cuantitativos de la importancia relativa de estos factores con el cambio de la cobertura y el uso del terreno, ya que las interpretaciones de cómo estos factores interactúan para estimular el cambio varían ampliamente de una región a otra (Skole *et al.* 1994 y Kummer & Turner II 1994). México no es la excepción, ya que los patrones de deforestación varían notablemente por regiones, en donde esos factores ambientales y socioeconómicos determinan en forma importante el patrón ocurrido en cada región en particular (Masera 1996).

Los estudios de caso en regiones del país han sido elaborados con diferentes técnicas y metodologías (por ejemplo, Dirzo y García 1991; Mas Porras 1992; Álvarez-Icaza *et al.* 1993; Mendoza 1997; Rosete *et al.* 1997;

1 Se entiende por uso de suelo (*land-use*) a las actividades humanas que se desarrollan sobre un territorio (*sensu* Turner *et al.* 1995), mientras que cobertura del terreno (*land-cover*) se refiere a todos los diferentes componentes que cubren la superficie de un territorio (*sensu* Jansen y di Gregorio 2002).

Sierra de Santa Marta 1996; Trejo y Hernández 1996; Mas *et al.* 1996; Velázquez *et al.* 2003) y se han concentrado en el trópico húmedo o en bosques templados.

El objetivo del presente trabajo es conocer los principales procesos de cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, en particular, aquellos asociados con los cambios en el matorral xerófilo, los usos agropecuarios y el crecimiento de la mancha urbana, con la finalidad de explorar posibles tendencias de cambio y la identificación de ventanas para estudiar los procesos de cambio a mayor detalle.

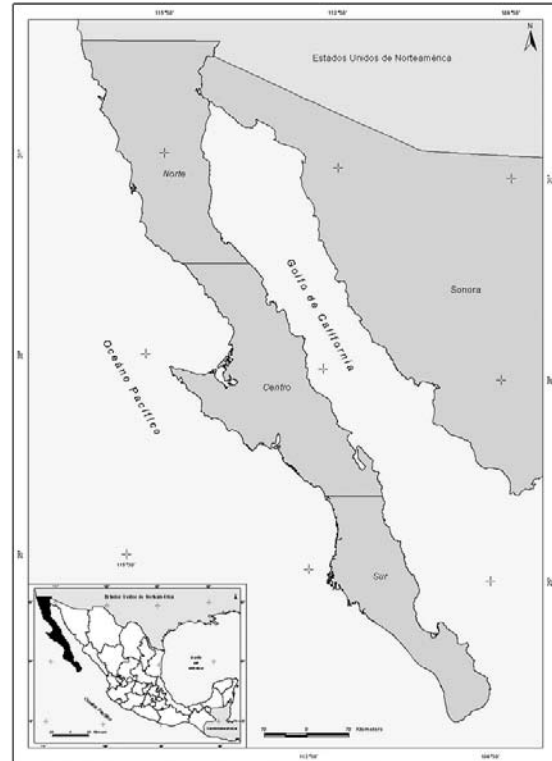
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La península de Baja California (Fig.1) es una de las últimas grandes extensiones del territorio nacional (y una de las decenas en el mundo) en donde la presión antrópica hacia los recursos naturales es, en términos regionales, muy baja. La presión se encuentra muy focalizada hacia sus extremos (Tijuana y Mexicali, en B.C., y La Paz y Los Cabos en B.C.S.), donde la frontera con EE.UU. representa la mayor zona de congregación humana (Canales 1995), dejando en las partes intermedias extensas zonas casi prístinas en donde los ecosistemas naturales han evolucionado casi sin presiones humanas.

La península de Baja California es una de las provincias fisiográficas definidas por INEGI para el territorio nacional (Quiñones 1987). Se encuentra en el noroeste de la República Mexicana y su territorio ocupa desde el norte del paralelo 32°, hasta el sur del paralelo 23°. Limita al norte con la frontera internacional estadounidense y al noreste con la provincia fisiográfica del desierto sonorense. La península se encuentra flanqueada por el Océano Pacífico al oeste, y el Golfo de California, al este. Las cumbres más elevadas se encuentran en las sierras de la porción norte, donde alcanzan alturas de 2000 a más de 3000 msnm (Delgadillo 1998). El origen de la península se le atribuye a un eje de emersión que recorre en forma longitudinal el fondo del Golfo de California. Al ir emergiendo, las placas se deslizan en sentidos contrarios, con lo que se amplía el ancho del golfo y se separa la península del continente. Este suceso se tiene estimado que se inició hace unos 20 millones de años, cuando la península fue separada del continente, dando origen al Golfo de California (INEGI 1995).

El eje geológico estructural de la península tiene rumbo noroeste-sureste y lo constituye la cordillera peninsular, cuyo masivo núcleo granítico (en realidad un batolito

Fig. 1. Localización del área de estudio. La Península se dividió en tres partes, con fines de representación cartográfica, norte, centro y sur



con dicho rumbo) aflora en el norte y queda sepultado en el sur, bajo materiales volcánicos de diversas edades, siempre más recientes que el intrusivo. El eje tiene la forma de un alargado bloque de falla basculado hacia el suroeste, con un flanco abrupto hacia el golfo y el otro tendido con suavidad hacia el Océano Pacífico. Esta cordillera remata su extremo sur en el bloque del Cabo, donde afloran nuevamente rocas graníticas, y determina la alargada y angosta configuración de la provincia (INEGI 1995).

Los climas que dominan esta provincia son: muy secos, templados, semicálidos y cálidos. Sin embargo, en la Sierra de Juárez y San Pedro Mártir, en su porción noroccidental, el clima seco templado varía en las cumbres a semifrío subhúmedo. También en la Sierra La Victoria (también conocida como Sierra de La Laguna), localizada al sur, en sus partes más elevadas el clima es templado subhúmedo. Con régimen de lluvias en invierno, se dispone una franja de norte a sur, desde la frontera internacional hasta Bahía Magdalena, patrón que contrasta con el resto de la provincia, donde dominan los climas

desérticos y semidesérticos, como ya se indicó (García 2004).

En la mayor parte de la provincia se desarrollan diversos tipos de matorrales, tales como el rosetófilo, sarcocaulle, sarcocrasicaulle de neblina y el desértico micrófilo, además de vegetación de desierto arenoso (INEGI 1995). Todos esos tipos de matorrales Rzedowski (1998) los agrupa en el tipo de vegetación "matorral xerófilo". En las Sierras de Juárez y San Pedro Mártir crece la vegetación de chaparral y bosques de pino-encino; en la Sierra de La Laguna crece la selva baja caducifolia y el bosque de encino y encino-pino (Delgadillo 1998). La península de Baja California se caracteriza por un elevado grado de endemismos, por lo que su contribución a la diversidad biológica nacional es importante (Riemann 2001; Riemann y Ezcurra 2005). Resaltan principalmente los grupos de plantas y reptiles, organismos que son afectados de manera directa (eliminación de la vegetación) o indirecta (destrucción del hábitat) por los procesos de cambio de uso de suelo, situación que se torna aún más grave si consideramos que, por sus características climáticas, la recuperación de las comunidades biológicas impactadas es muy lenta, en comparación con zonas templadas subhúmedas o calido húmedas.

Los países con economía de mercado se han caracterizado por la concentración de la población y actividades económicas en pocos puntos del territorio (Garza 1985), situación en especial clara para la península de Baja California. Entre 1980 y 1990 los estados de Baja California y Baja California Sur fueron los únicos en tener una tasa de crecimiento promedio anual superior a la media nacional. Este incremento se atribuye a la migración ocurrida hacia esta región, y en particular hacia la zona fronteriza con los EE.UU. en los municipios de Tecate y Tijuana, pero para los 90 la llegada de nuevos pobladores a la región se concentró en los municipios de Playas de Rosarito (de reciente creación) y Tijuana. En la década de los 80, los municipios atractores de población fueron Ensenada, Tecate, Tijuana, Comondú y Mulegé. Para la década de los 90 fueron los cinco municipios de Baja California (Ensenada, Mexicali, Tecate, Tijuana y Playas de Rosarito) y Loreto y Los Cabos en Baja California Sur. En ambas décadas, los municipios con mayor atracción de población fueron Ensenada, Tecate y Tijuana (INE-COLMEX 2002).

Al comparar el ritmo de crecimiento de una entidad con respecto a la media nacional se puede establecer una medida de competitividad económica local. Si la tasa de

crecimiento promedio anual de una entidad federativa supera a la nacional entonces su participación en el agregado nacional aumenta, posicionándolo como un espacio competitivo. En el periodo 1980-1998 la participación de Baja California y Baja California Sur en el PIB nacional aumentó, aumentando también su competitividad según esta definición. El grado de marginación municipal en 1995 era muy bajo para todos los municipios de la península, a excepción de Loreto y Comondú, en Baja California Sur, que fue bajo (CONAPO 1997). Sin embargo, para el año 2000, la mayoría de los municipios continuaban en la categoría de muy baja marginación, pero los municipios de Mulegé y Comondú fueron los que estaban, en ese entonces, en la categoría de baja marginación (CONAPO 2000). Para el año 2005 solamente el municipio de Mulegé se mantenía en la categoría de baja marginación, mientras que el resto de los municipios peninsulares fueron clasificados como de muy baja marginación (CONAPO 2006).

En la actualidad, los principales procesos que desencadenan el cambio de uso del suelo en la península de Baja California son el crecimiento de las áreas urbanas, la inmigración de población a la zona fronteriza, la actividad industrial (principalmente maquiladoras) y las actividades turísticas. Es de preverse que estos procesos socio-productivos conlleven un incremento en la presión hacia los recursos naturales en el mediano plazo, principalmente sobre el agua potable, las superficies para producción agropecuaria, las áreas de reservas territoriales para el crecimiento urbano y el incremento de enclaves turísticos orientados hacia un visitante con altos consumos de agua y energía (INE-UABC 2002; INE-COLMEX 2002; INE-UABC 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada consta de una parte de conceptos y otra de métodos y técnicas. En la parte conceptual, de acuerdo con Bocco *et al.* (2001), analizar el proceso de cambio de uso y cobertura del terreno implica tres pasos principales: 1) detección e interpretación cartográfica y digital del cambio, 2) análisis de los patrones de cambio de cobertura y uso del suelo y 3) análisis de las causas del cambio de uso del suelo.

El método que se utilizó para el análisis de cambio de la vegetación y el uso del suelo fue el del análisis espacial, el cual se basó en la identificación de los cambios en las componentes espacial y temática, y en la representa-

ción de los procesos espacio-temporales, llevados a cabo a partir de la elaboración de un producto cartográfico que expresara los cambios de la vegetación en el tiempo (1978-2000); es decir, "se trató de expresar las diferencias entre dos momentos temporales para las distintas unidades de observación" (Gutiérrez y Gould 2000).

Se trabajó a la escala geográfica de 1:250,000; es decir, a un nivel regional que permitiera manejar todo el territorio peninsular, de unos 142,000 km² (la península se extiende por casi 1300 km en línea recta, de noroeste a sureste). A continuación se describen los métodos y técnicas, así como las bases de datos utilizados para el trabajo.

Para la definición del uso de suelo al nivel de toda la península se utilizaron las cartas de INEGI (Serie I) y las elaboradas para el Inventario Nacional Forestal 2000 a escala 1:250,000, ambas en formato digital.

Los insumos cartográficos digitales que se utilizaron para este análisis fueron los siguientes: Uso del Suelo y Vegetación 1978, elaborado por el Instituto de Geografía (IG), UNAM, a partir de la digitalización y reestructuración de la base de datos del mapa de Uso del Suelo y Vegetación (Serie I) del INEGI escala 1:250,000. Para describir la situación en el segundo momento analizado se utilizó el mapa resultado del Inventario Nacional Forestal 2000 escala 1: 250,000, generado por el Instituto de Geografía de la UNAM, por contrato del INESEMARNAP (Mas *et al.* 2002).

El tercer producto que se utilizó en este trabajo fue el mapa del límite de la Península de Baja California, de acuerdo con el Marco Geoestadístico Municipal (MGM) 2000 escala 1:250,000 del INEGI.

El análisis espacial de este trabajo se llevó a cabo a partir del desarrollo de los siguientes procesos metodológicos, con apoyo del programa Arc/View:

1. Adecuación de límites. Ninguno de los tres insumos cartográficos para este análisis eran coincidentes en sus límites de la unidad geográfica de estudio, por lo que se llevó a cabo la edición de los límites de los mapas de vegetación para adecuarlos al del límite del MGM.
2. Selección del nivel de agregación o detalle. Las entidades geográficas de los mapas de vegetación vienen acompañadas de atributos que se organizan jerárquicamente en cuatro niveles de resolución espacial: formación; subformación; tipo de vegetación y comunidad vegetal, de menor a mayor detalle,

respectivamente. Para este trabajo se eligió la información contenida en el atributo tipo de vegetación, por considerar que éste era el que nos proporcionaba el máximo nivel de detalle de la unidad geográfica analizada a la escala de trabajo, acompañado de un nivel de error aceptable (Mas *et al.* 2004).

3. Generalización cartográfica. En todo análisis que se realiza a partir de mapas es necesario eliminar aquellas entidades de valor secundario, debido a que "las designaciones cartográficas no reflejan las particularidades y los detalles de poca importancia, propios de uno y otro objeto, sino que destacan los caracteres fundamentales" (Salitchev 1981). La generalización puede ser conceptual y por área mínima cartografiable y ambas se aplicaron a las coberturas de vegetación. A continuación se explica en qué consistió cada una de ellas:
 - a) Conceptual. Una vez que se eligió al atributo tipo de vegetación como el nivel de detalle, fue necesario quitar de la base de datos los tres atributos que no fueron elegidos para el análisis y reconstruir la geometría de las entidades geográficas; es decir, se eliminaron todos aquellos límites en los que una o más entidades geográficas compartían el mismo dato.
 - b) Por área mínima cartografiable. Los dos mapas por tipos de vegetación contenían entidades con poca superficie, tan pequeñas, que a simple vista no eran observables, razón por la que se decidió aplicar la correspondiente generalización espacial, respaldada en el concepto de área mínima cartografiable. Dicha generalización consistió en eliminar a todas las entidades cuya superficie fuera igual o inferior a 0.25 km² y asignarlas a las entidades con la que compartían mayor superficie. Con este procedimiento se garantizó que, al superponer los mapas, el número de combinaciones de los cambios de vegetación y usos del suelo disminuiría sustancialmente.
4. Superposición de mapas. Es conocido por la mayoría de los usuarios de los Sistemas de Información Geográfica como "cruce de mapas". En este trabajo, a dicho procedimiento se le reconoce como el de mayor importancia, debido a que con él se generó el producto cartográfico con el que fue posible identificar espacialmente los cambios de vegetación y uso del suelo. Dicho procedimiento consistió en la manipulación geométrica de las entidades geográficas de los mapas de vegetación, por lo que el mapa resultante expresó la fusión de la geometría de ambos

Tabla 1. Matriz de transición 1978-2000 para la Península de Baja California. MX = matorral xerófilo, MZ = mezquital, P = pastizal, AT = agricultura de temporal, ARH = agricultura de riego y humedad, CISC = selva caducifolia y subcaducifolia, BC = bosque de coníferas, BL = bosque de latifoliadas, BCyl = bosque de coníferas y latifoliadas, VH = vegetación hidrófila, OTV = otros tipos de vegetación, ASVA = área sin vegetación aparente, AH = asentamiento humano, CA = cuerpo de agua

km ²	2000													
	MX	MZ	P	AT	ARH	SCySC	BC	BL	BCyl	VH	OTV	ASVA	AH	CA
Matorral xerófilo	108,521	275.3	1,080.5	595.9	842.0	21.6	41.4	409.1	177.3	167.2	778.6	653.3	128.5	7.1
Mezquital	34.4	645.5	2.6	0	4.7	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	11.2	0.0	0.0
Pastizales	143.2	3.1	419.0	180.0	122.4	3.8	124.5	1.5	0.0	2.2	11.9	34.1	83.9	1.1
Agricultura de temporal	39.3	0	87.6	698.6	236.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	8.8	9.6	58.1	1.3
Agricultura R y H	344.4	3.0	6.9	32.9	3,847.5	0.0	0.0	0.0	0.0	100.1	278.1	2.2	176.3	3.2
Selva ca- ducifolia y subcaducifolia	293.2	47.5	24.1	0.0	13.3	3,296.1	0.0	289.8	2.4	6.3	0.0	4.4	6.3	0.0
Bosque de coníferas	62.3	0.0	56.6	8.9	0.0	0.0	1,417.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.1
Bosque de latifoliadas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.1	0.0	194.6	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
B. de coníferas y latifoliadas	0.0	0	0.0	0	0.0	0	4.2	14.1	52.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vegetación hidrófila	202.1	136.4	7.0	18.9	42.4	1.3	0.0	0.0	0.0	557.6	24.0	10.6	0.0	9.6
Otros tipos de vegetación	890.4	3.4	7.8	28.3	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	64.9	8,150.4	237.9	3.5	53.3
Área sin vegetación aparente	124.0	0	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	152.5	3,003.2	0.0	531.4
Asentamiento humano	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	166.8	0.0
Cuerpo de agua	4.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	20.3	3.2	6.7	0.0	0

productos, así como los nuevos atributos con los que de identificaron los cambios de la vegetación y el uso del suelo.

5. Análisis de resultados. A partir de los atributos de la cobertura resultante se generó una base de datos, tabla de frecuencias o combinaciones, para conocer los de cambios de vegetación y uso del suelo que se presentaron de un periodo a otro y para totalizar la superficie (en km²) que cada una de ellos ocupó. Con dicha base se construyó una matriz de transición para analizar los patrones del cambio de la vegetación y el uso del suelo.
6. Presentación final de la información geográfica. Consistió en la edición y el armado final del mapa temático, utilizando la representación cartográfica de fondo cualitativo para expresar el fenómeno espacial del cambio de la vegetación y el uso de suelo. Este paso sirvió para conocer la distribución espacial de los cambios.

Para el análisis de los patrones de cambio de uso del suelo se incluirá el cálculo de las tasas de deforestación por tipo de cobertura vegetal, la determinación de las matrices de transición de cambio de uso del suelo y las matrices de probabilidad de transición para cada una de las clases de cobertura seleccionadas.

Para calcular la tasa de cambio de cada categoría de tipo de vegetación se utilizó la fórmula planteada por la FAO (1996):

$$t = (1 - ((S1 - S2)/S1)) 1/n - 1$$

Donde:

t = Tasa de cambio

$S1$ = Superficie en la fecha 1

$S2$ = Superficie en la fecha 2

n = Número de años entre las dos fechas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis espacial realizado, se identificó que en toda la Península de Baja California, durante el periodo 1978-2000, el 92.3% del territorio permaneció sin cambio alguno, mientras que el 7.7% de su superficie presentó algún cambio en la cobertura vegetal. A nivel regional los principales cambios de uso del suelo y vegetación son de origen antrópico y se han dado por el crecimiento de las ciudades y la expansión de las actividades agropecuarias, principalmente en los extremos norte y sur. La porción central de la Península muestra muy pocos cambios durante el periodo de tiempo analizado. En la tabla 1 se presenta la matriz de transición para cada tipo de vegetación durante el periodo de tiempo analizado.

Los tipos de vegetación y uso del suelo que mayor disminución sufrieron fueron el matorral xerófilo, los pastizales, la agricultura de temporal y la agricultura de riego y humedad. Los tipos de vegetación y uso del suelo que tuvieron un mayor incremento en el periodo fueron los asentamientos humanos, la agricultura de riego y humedad y la agricultura de temporal. Existen otros tipos de vegetación y uso del suelo que presentan disminución e incrementos significativos, pero están asociados a la dinámica de los cuerpos de agua costeros (como es el caso de la vegetación hi-

Tabla 2. Principales cambios de tipos de vegetación entre 1978 y 2000. La categoría "Agropecuario" incluye la agricultura de riego y humedad, la agricultura de temporal y los pastizales inducidos y cultivados. La categoría de "Otros tipos de vegetación" incluye el palmar, la vegetación halófila y gipsófila y la vegetación de dunas costeras

1978	2000	Superficie (km ²)
Matorral xerófilo	Agropecuario	2518.3
Matorral xerófilo	Otros tipos de vegetación	778.6
Matorral xerófilo	Área sin vegetación aparente	653.3
Agropecuario	Matorral xerófilo	487.6
Otros tipos e vegetación	Matorral xerófilo	890.4
Agricultura de riego y humedad	Otros tipos de vegetación	278.1
Área sin vegetación aparente	Matorral xerófilo	124.0
Matorral xerófilo	Asentamiento humano	128.5
Agropecuario	Asentamiento humano	318.3

Fig. 2. Mapa de cambios de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la zona norte de la Península de Baja California

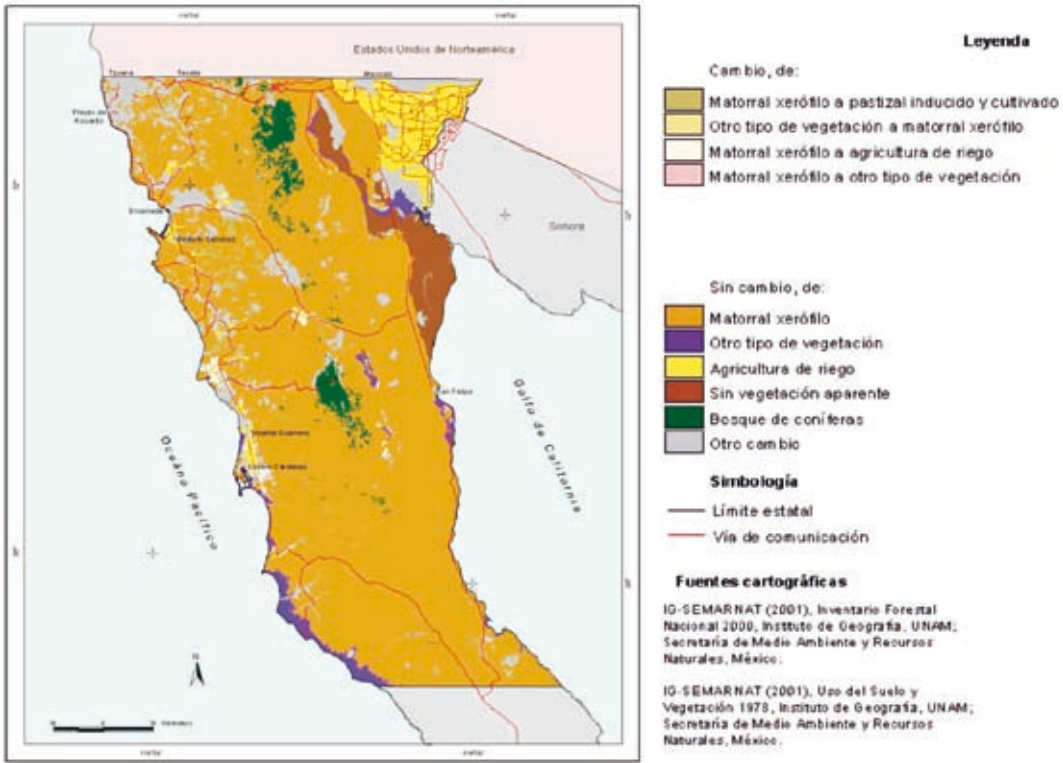


Fig. 3. Mapa de cambios de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la zona centro de la Península de Baja California

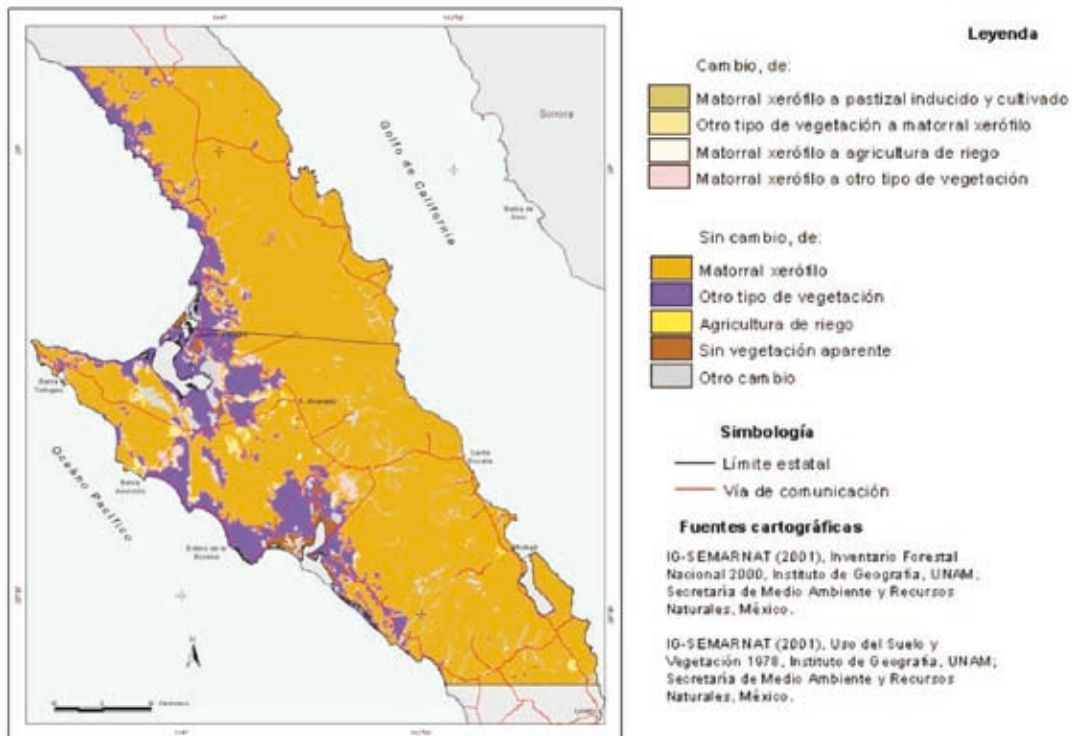


Fig. 4. Mapa de cambios de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la zona sur de la Península de Baja California

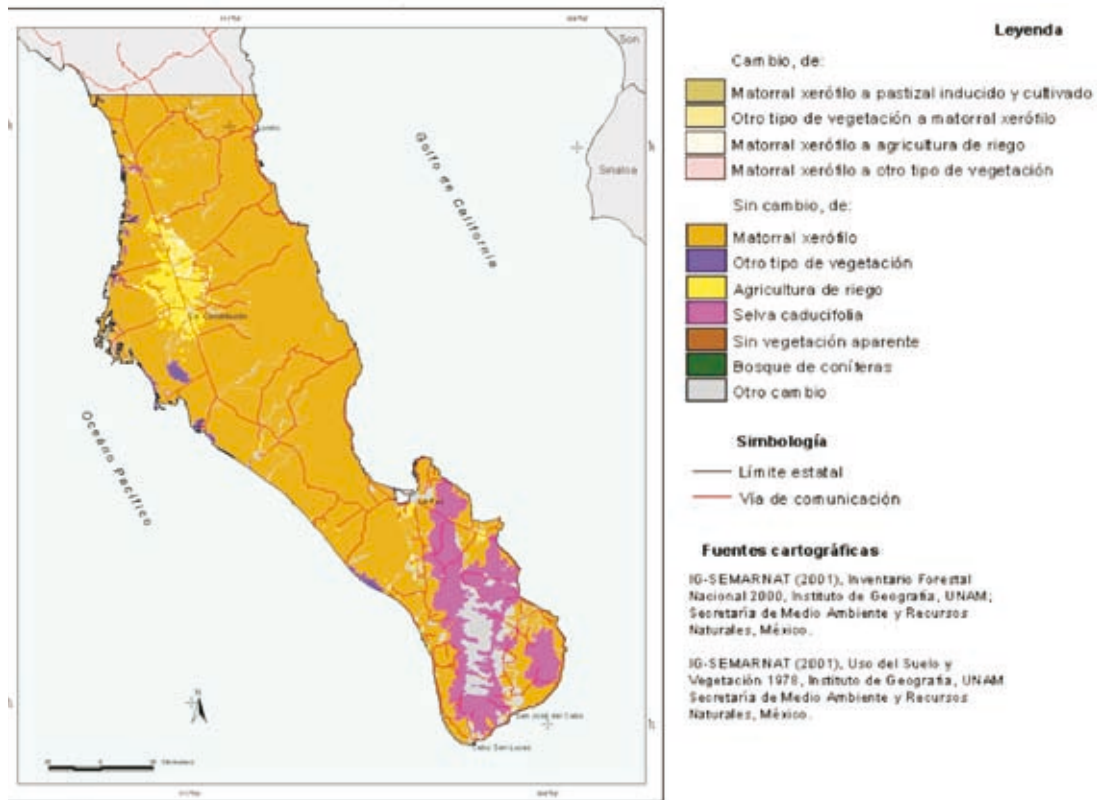
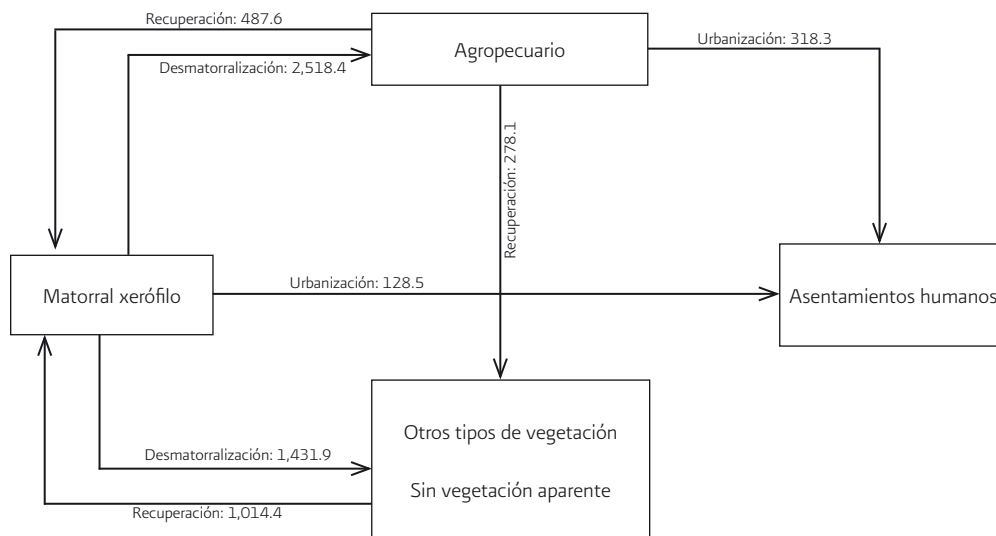


Fig. 5. Diagrama de flujo de los principales procesos de cambio de usos del suelo en la Península de Baja California (1978-2000). Las cifras están en km²



drófila, otros tipos de vegetación y áreas sin vegetación aparente) o a procesos de reforestación en las zonas boscosas (bosques de latifoliadas y bosques de coníferas y latifoliadas). Estos cambios no fueron considerados en el análisis del presente trabajo, ya que el interés principal se centra en los cambios del matorral xerófilo. En la tabla 2 se muestra el resumen de los principales cambios encontrados durante el periodo de análisis, resaltando aquellos originados por las actividades antrópicas.

En las figuras 2 a 4 se pueden observar los principales cambios ocurridos durante el periodo de tiempo analizado. Destaca que la mayoría de los cambios se dieron en la planicie costera, asociados a las áreas agrícolas y los asentamientos humanos, así como en las zonas colindantes con vegetación arbórea (bosques y selvas bajas).

En la figura 5 se presenta un diagrama que ilustra los principales procesos identificados, así como los valores de los flujos entre las categorías de tipos de vegetación involucradas.

DISCUSIÓN

Los cambios en la superficie ocupada por cada tipo de vegetación y uso del suelo se pueden agrupar en dos grandes categorías: aquellos originados por la actividad del hombre y los ocurridos por dinámicas naturales de los ecosistemas. Entre los primeros se incluye el cambio de matorral xerófilo a cualquier tipo de agricultura y a asentamientos humanos, o la recuperación de las áreas agropecuarias abandonadas (sea por razones de índole productivo o por emigración, como lo señalan los trabajos de Awasthi *et al.*, 2002; Jokish, 2002; Braimoh, 2005; Rudel *et al.*, 2005 y López *et al.*, 2006), mientras que en el segundo grupo se incluye a los procesos de sucesión secundaria en áreas alteradas naturalmente, como los procesos derivados de la dinámica de los cuerpos de agua (la mayoría de ellos se encuentran en la clase "otros procesos" de los mapas de procesos de cambio).

Los procesos de cambio más importantes originados por la actividad humana, son entonces la conversión del matorral xerófilo a áreas agrícolas (desmatorralización), la conversión de matorral xerófilo y pastizales a zonas urbanas (expansión de la mancha urbana), y la recuperación de la vegetación en zonas agrícolas y de pastizales abandonadas (recuperación). Los procesos de desmato-

rralización y urbanización² son más intensos en la zona norte de la península, mientras que la recuperación es mayor en la zona sur, especialmente en la sierra de La Laguna. En orden de magnitud, la desmatorralización para actividades agropecuarias es la más importante en la península, mientras que el segundo lugar lo ocupa la sustitución del matorral xerófilo por otros tipos de vegetación o por áreas sin vegetación aparente. En el caso de la desmatorralización para actividades agropecuarias, las coberturas con mayor incremento en superficie proveniente del matorral xerófilo son la agricultura de riego y humedad y los pastizales.

En el caso de la expansión de la mancha urbana, es más intenso en magnitud la transición de usos agropecuarios a asentamientos humanos, pero poco menos de la mitad de esa cantidad de superficie pasa directamente de matorral xerófilo a asentamientos humanos, sin pasar antes por un uso agropecuario. En el caso del uso agropecuario, la principal categoría que cede terreno para el incremento de los asentamientos humanos es la agricultura de riego y humedad, y en segunda instancia los pastizales. Aunque en magnitud la urbanización es el proceso menos importante en términos absolutos, e incluso como parte de los procesos de cambio, cabe señalar que durante el periodo analizado la superficie ocupada por los asentamientos humanos se incrementó en casi 270%. La superficie incrementada sobre usos agropecuarios representa el 193% de la superficie existente en 1978, mientras que directamente del matorral xerófilo se aportó el 77% restante.

El proceso de recuperación más importante en magnitud se da en la transición de otros tipos de vegetación a matorral xerófilo, pero también es importante el paso de usos agropecuarios a matorral xerófilo (principalmente de agricultura de riego y humedad) y de usos agropecuarios a otros tipos de vegetación (también de agricultura de riego y humedad).

Si bien en el periodo de 22 años analizado se dan cambios en 7.7% del territorio peninsular, en superficie representa 10,920 km², es decir, más de un millón de hectáreas, lo que significa un promedio de casi 50,000 ha por año. Es interesante resaltar que las clases de tipos de vegetación más dinámicas son, en orden de importancia, el matorral xerófilo, los pastizales y la agricultura de riego y humedad junto con la vegetación hidrófila. En

2 Aunque en sentido estricto no se trata de un proceso de urbanización, sino de expansión de la mancha urbana.

el caso del matorral, aporta (desmatorralización y urbanización) superficie a todas las demás clases de tipos de vegetación (13 clases), mientras que recibe (recuperación) de 10 de ellas, exceptuando a los asentamientos humanos, los bosques de latifoliadas y los bosques de coníferas y latifoliadas. Sin embargo, cabe resaltar que a escala regional no es suficiente para plantear escenarios de cambio, por lo que es necesario realizar el análisis sobre ventanas particulares de interés para poder tener una mayor certidumbre de los datos.

Lo que sucede con la vegetación hidrófila es diferente, ya que aunque también le aporta superficie a nueve clases y recibe de ocho, las clases con mayor participación son diferentes. Por un lado aporta en forma importante al matorral (recuperación) y al mezquite, pero recibe del matorral (desmatorralización) y de la agricultura de riego y humedad. Es claro que la dinámica de esta clase se debe a los eventos de precipitación extraordinarios y la dinámica de las lagunas costeras, así como el eventual abandono de zonas de riego.

Para apoyar esta interpretación hay que analizar el caso de las clases "otros tipos de vegetación" y "áreas sin vegetación aparente", en donde existe una relación que involucra cerca de 40,000 ha en el intercambio entre esas dos clases, además de un proceso de recuperación entre la agricultura de riego y humedad y otros tipos de vegetación. Por otro lado, se presenta la relación de esas dos clases con el matorral xerófilo, en donde éste pierde superficie considerable para incrementar la superficie de aquellas dos (desmatorralización), pero el proceso de recuperación desde otros tipos de vegetación hacia el matorral también es muy importante.

Esta dinámica de sustitución de matorral por otros tipos de vegetación, el paso de otros tipos de vegetación a áreas sin vegetación aparente (principalmente en las zonas de las lagunas costeras del centro de la península en la vertiente del pacífico) y la recuperación de otros tipos de vegetación a matorral dan evidencia de que estos procesos están influenciados de manera importante por la dinámica hidrológica de las lagunas costeras, incluyendo los eventos extraordinarios de precipitación que ocurren en años Niño.

CONCLUSIONES

En el periodo analizado (22 años) se dan cambios en 7.7% del territorio peninsular. Esto representa en superficie 10,920 km², lo que significa un promedio de casi

50,000 ha por año. Los principales procesos de cambio encontrados, originados por la actividad humana, son la conversión del matorral xerófilo a áreas agrícolas (desmatorralización), la conversión de matorral xerófilo y pastizales a zonas urbanas (expansión de manchas urbanas), y la recuperación de la vegetación en zonas agrícolas y de pastizales abandonadas.

Los procesos de desmatorralización y expansión urbana son más intensos en la zona norte de la península, mientras que la recuperación es mayor en la zona sur, especialmente en la sierra de La Laguna. En orden de magnitud, la desmatorralización para actividades agropecuarias es la más importante en la península, mientras que el segundo lugar lo ocupa la sustitución del matorral xerófilo por otros tipos de vegetación o por áreas sin vegetación aparente, presumiblemente ocasionada por procesos de dinámica natural de los ecosistemas (hidrodinámica de las lagunas costeras).

La expansión urbana es en magnitud el proceso menos importante, pero durante el periodo analizado la superficie ocupada por los asentamientos humanos se incrementó en casi 270%. Desgraciadamente el incremento de las zonas urbanas no se da de forma planeada, lo que favorece, en muchas ocasiones, el crecimiento de la mancha urbana sobre zonas no aptas para el establecimiento de viviendas, como las laderas inclinadas y los cauces de los ríos. Esta situación aumenta el riesgo de la población ante la incidencia de peligros naturales.

El proceso de recuperación más importante se da de otros tipos de vegetación a matorral xerófilo, pero también es importante el paso de usos agropecuarios a matorral xerófilo (principalmente de agricultura de riego y humedad) y de usos agropecuarios a otros tipos de vegetación (también de agricultura de riego y humedad). Estos procesos de recuperación están estrechamente ligados al abandono de las tierras agropecuarias, fenómeno que se puede explicar de dos formas: 1) por el agotamiento o la salinización de los mantos acuíferos utilizados para el riego, o 2) por la emigración de los productores del campo a los centros urbanos o al extranjero.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Icaza, P., G. Cervera, C. Garibay, P. Gutiérrez y F. Rosete. 1993. *Los umbrales del deterioro. La dimensión ambiental de un desarrollo desigual en la región purépecha*, Facultad de Ciencias UNAM, PAIR-UNAM, Friederich Ebert Stiftung, México. 274 pp.

- Awasthi, K., B. Sitaula, B. Singh y R. Bajacharya. 2002. Land-use change in two Nepalese watersheds: GIS and geomorphometric analysis. *Land Degradation & Development* 13(6): 495-513.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. Maserá. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 44: 18-38.
- Braimoh, A. y P. L. G. Vlek. 2005. Land Cover Change Trajectories in Northern Ghana. *Environmental Management* 36: 356-373.
- Campos, C.P., M.S. Muylaert y L. Pinguelli. 2004. Historical CO₂ emission and concentrations due to land use change of croplands and pastures by country. *Science of the Total Environment* 346: 149-155.
- Canales, A. 1995. El poblamiento de Baja California. 1848-1950. *Revista Frontera Norte* 7(13): 5-23.
- Consejo Nacional de Población. 2006. La situación demográfica de México. CONAPO, México. 262 p.
- . 2000. *Índices de marginación 2000*. CONAPO, México.
- . 1997. *La situación demográfica de México*. CONAPO, México.
- Chikhaoui, M., F. Bonn, A.I. Bokoye y A. Merzouk. 2005. A spectral index for land degradation mapping using ASTER data: Application to a semi-arid Mediterranean catchment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7:140-153.
- Delgadillo, J. 1998. *Florística y ecología del norte de Baja California*. Universidad Autónoma de Baja California. Segunda edición. Mexicali, Baja California, México. 414 p.
- Dirzo, R. y M. C. García. 1991. Rates of deforestation in Los Tuxtlas a Neotropical area in southeast Mexico. *Conservation Biology* 6: 84-90.
- Dunjó G., G. Pardini y M. Gispert. 2003. Land use change effects on abandoned terraced soils in a Mediterranean catchment, NE Spain. *CATENA* 52: 23 -37.
- Dunn, C., D. Shape, G. Gutenspergen, F. Stearns y Z. Yang. 1991. *Methods for Analyzing Temporal Changes in Landscape Patterns*. En: M.G. Turner y R. Gardner (eds.). *Quantitative Methods in Landscape Ecology*, Ecological Studies 82. Springer, New York, pp. 173-198.
- FAO. 1996. Forest resources assesment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. FAO forestry paper 130. Roma, 152 p.
- Farina, A. 1998. *Principles and Methods in Landscape Ecology*. Chapman & Hall, Londres.
- Fernández, R., A. Martín, F. Ortega y E. Ales. 1992 Recent changes in landscape structure and function in Mediterranean region of SW Spain (1950-1984). *Landscape Ecology* 7(1): 3-18.
- Forman, R.T.T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, Londres.
- Foster, D.R., M. Fluet y E. R. Boose. 1999. Human or natural disturbance: landscape-scale dynamics of the tropical forests of Puerto Rico. *Ecological Applications* 9(2):555-572.
- García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Serie libros # 6. 5ª edición. Instituto de Geografía, UNAM. 92 pp.
- Garza, G. 1985. *El proceso de industrialización en la ciudad de México*, El Colegio de México, México.
- Gutiérrez, J. y M. Gould. 2000. *SIG: Sistemas de información geográfica*. Editorial Síntesis. Madrid, España.
- Heistermann, M., C. Müller y K. Ronneberger. 2006. Land in sight? Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modeling. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114: 141-158.
- Hobbs, R. 1997. Future landscapes and the future of landscape ecology. *Landscape and Urban Planning* 37:1-9.
- INE-UABC. 2002. Bases para el ordenamiento ecológico de la región escalera náutica. Componente biofísico integración, Informe final, INE-SEMARNAT, México.
- . 2005. *Caracterización y diagnóstico del ordenamiento ecológico marino del Golfo de California*, Informe final, INE-SEMARNAT, México.
- INE-COLMEX. 2002. Bases para el ordenamiento ecológico de la región escalera náutica. Componente social y económico, Informe final, INE-SEMARNAT, México.
- INEGI. 1995. *Síntesis geográfica del estado de Baja California Sur*, INEGI, México. 52 pp.
- Jansen, L.J.M. y A. di Gregorio. 2002. Parametric land cover and land-use classification as tools for environmental change detection. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91: 89-100.
- Jokish, B. 2002. Migration and agricultural change: The case of smallholder agriculture in Highland Ecuador. *Human Ecology* 30(4):523-550.
- Kummer, D. M. y B. L. Turner II. 1994. The human causes of deforestation in Southeast Asia. *Bioscience* 44(5):323-328.
- Lambin, E. F. 1997. Modelling and monitoring land-cover change process in tropical Regions. *Progress in Physical Geography* 21(3):375-393.
- Lambin, E.F. 1994. Modelling Deforestation Processes. A Review. Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites. TREES Series: Research Report No. 1. Luxemburg, 113 pp.
- Lambin, E.F. y H. Geist (eds.). 2006. *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Springer, Berlin, Alemania. 204 pp.

- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velázquez y R. Aguirre. 2006. Peasant emigration and land use change. *Agricultural Systems* 90:62-78.
- Mas, J.F., A. Velásquez, J. Reyes, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández y A. Pérez-Vega. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multivariate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(4):249-338.
- Mas, J.F., A. Velásquez, J. L. Palacio, G. Bocco, A. Peralta y J. Prado. 2002. Assessing forest resources in Mexico: wall-to-wall land use/cover mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68(10):966-968.
- Mas, J.F., V. Sorani y R. Álvarez. 1996. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 5:43-57.
- Mas Porras, J. 1992. Evolución de los recursos forestales de Michoacán hacia el año 2000. *Revista Universidad Michoacana* 3:25-36.
- Masera, O. 1996. *Deforestación y degradación forestal en México*, Documentos de trabajo # 19. GIRA A.C., Pátzcuaro, México.
- Masera, O., M. J. Ordoñez y R. Dirzo. 1997. Carbon emissions from Mexican forest: current situation and long term scenarios. *Climatic Change* 35: 265-295.
- Manson, S. 2006. Land use in the southern Yucatán peninsular region of Mexico: Scenarios of population and institutional change. *Computers, Environment and Urban Systems* 30: 230-253.
- Medley, K., B. Okey, G. Barrett, M. Lucas y W. Renwick. 1995. Landscape change with agricultural intensification in a rural watershed, southwestern Ohio, USA. *Landscape Ecology* 10(3):161-176.
- Mendoza, E. 1997. Análisis de la deforestación en la selva Lacandona: patrones, magnitud y consecuencias, Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Meyer, W.B. y B.L. Turner II. 1994. *Changes in Land Use and Land Cover: a Global Perspective*. Cambridge University Press. 538 pp.
- Milesi, C., H. Hashimoto, S.W. Running y R.R. Nemani. 2005. Climate variability, vegetation productivity and people at risk. *Global and Planetary Change* 47: 221-231.
- Pan, D., G. Domon, S. De Bois y A. Bouchard. 1999. Temporal (1958-1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecology* 14: 35-52.
- Quiñones, H. 1987. El sistema fisiográfico de la Dirección General de Geografía. *Revista de Geografía* 1(2):13-20.
- Riemann, H. 2001. Flora Vascular Endémica de la Península de Baja California, patrones de distribución y escenarios de conservación. Tesis de doctorado. Instituto de Ecología, UNAM, México.
- y E. Ezcurra. 2005. Plant endemism and natural protected areas in the peninsula of Baja California, Mexico. *Biological Conservation* 122: 141-150.
- Rosete, F., J. A. Ordoñez y O. Masera. 1997. Dinámica del cambio de uso del suelo y emisiones de carbono en la meseta purépecha. Reporte interno. Instituto de Ecología, UNAM, México. 25 pp.
- Rudel, T., O. T. Coomes, E. Moran, F. Achard, A. Angelsen, J. Xu y E. Lambin. 2005. Forest transitions: towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change* 15: 23-31.
- Rzedowski, J. 1998. *Vegetación de México*. Séptima reimpresión. Ed. Limusa, México.
- Salitchev, K. 1981, *Cartografía*. Editorial pueblo y educación. La Habana, Cuba.
- Sierra de Santa Marta A.C. 1996. Desarrollo sustentable y conservación de la biodiversidad: un estudio de caso en la sierra de Santa Marta, Veracruz, México, Informe preliminar.
- Skole, D.L., H. Chomentowski, W.A. Salas y A.D. Nobre. 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *Bioscience* 44(5):314-322.
- Trejo, I. y J. Hernández. 1996. Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos mediante imágenes de satélite. *Investigaciones Geográficas* 5:11-18.
- Turner, M.G., G.J. Arthaud y R.T. Engstrom. 1995. Usefulness of spatially explicit population models in land management. *Ecological Applications* 5(1):12-16.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). 2007. *Perspectivas del medio ambiente mundial: Geo-4*. UNEP, Dinamarca. 574 pp.
- 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.
- Xiao J., Y. Shen, J. Ge, R. Tateishi, C. Tang, Y. Liang y Z. Huang. 2006. Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning* 75:69-80.
- Zonneveld, I. S. 1995. *Land Ecology*. SPB Academic Publishing. Amsterdam. 199 pp.