

## Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México<sup>1</sup>

Recibido: 4 de mayo de 2007. Aceptado en versión final: 30 de abril de 2008.

Fernando Antonio Rosete Vergés\*

José Luis Pérez Damián\*

Gerardo Bocco\*\*

**Resumen.** Este trabajo analiza el cambio de uso de suelo y de vegetación en la Península de Baja California, al nivel de tipo de vegetación, durante el periodo 1978 (Serie I de INEGI) a 2000 (Inventario Nacional Forestal) a escala 1:250 000. Se realizó un análisis espacial de la información en ambiente de sistemas de información geográfica (SIG) para identificar los cambios durante el periodo analizado. Se elaboró una matriz de transición y se agruparon los cambios encontrados en tres procesos principales de cambio de uso del suelo: desmatossilización, 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 desmatossilización

y urbanización son más intensos en la zona norte de la península, mientras que la recuperación es mayor en la zona sur. La desmatossilización para actividades agropecuarias es la más importante en la península. La urbanización en magnitud 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, desmatossilización.

<sup>1</sup> Este trabajo presenta parte de los resultados obtenidos en la tesis de doctorado del primer autor.

## Land use change in the Baja California Peninsula, Mexico

**Abstract.** This work analyzes the land use change in the Baja California Peninsula, at the level of vegetation types. The time period analyzed was 1978 (Serie I de INEGI) to 2000 (Inventario Nacional Forestal) at 1:250 000 scale. The spatial analyses were carried out in a GIS environment to identify the changes in the period. 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 deforesta-

tion and urbanization 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 in the peninsula. The urbanization, 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.

---

\*Instituto Nacional de Ecología, Periférico # 5000, 2º piso, Col. Insurgentes-Cuicuilco, 04530, Coyoacán México, D. F. E-mail: frosete@ine.gob.mx, jldamian@ine.gob.mx

\*\*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro # 8701, Col. Ex Hacienda San José de la Huerta, 58190, Morelia, Michoacán. E-mail: gbocco@oikos.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 socio-económicos (Fernández *et al.*, 1992; Zonneveld, 1995). En la escala temporal de décadas, las actividades humanas que impactan el uso de suelo<sup>2</sup> son el factor clave 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). 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 en relación con la pérdida de hábitat, de diversidad biológica, servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas. Según Lambin (1997), la mayor parte de los cambios ocurridos en ecosistemas terrestres se debe a: *a*) conversión de la cobertura del terreno, *b*) degradación del terreno y *c*) 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.

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) indican que nuestro país se encuentra entre los países con mayor deforestación al 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 éstos interactúan para estimular el cambio varían ampliamente de una región a otra (Skole *et al.*, 1994 y Kummer y 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 (p. ej. Dirzo y García, 1991; Mas Porras, 1992; Álvarez *et al.*, 1993; Mendoza, 1997; Rosete *et al.*, 1997; 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 de este trabajo es conocer los principales procesos de cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, en particular aquéllos asociados a 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.

## ANTECEDENTES

Tres de los cambios globales bien documentados, según Vitousek (1994), son el incremento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera; alteraciones en la bioquímica del ciclo global del nitrógeno y los cambios que suceden en el uso de suelo/cobertura del terreno. Esos cambios en el uso del suelo tienen importantes implicaciones para los futuros cambios en el clima de la tierra y, por consecuencia, grandes implicaciones para los cambios subsecuentes en el uso del suelo (Agarwal *et al.*, 2002). Es por esto que surge como una necesidad el entender las interacciones entre las actividades humanas y los recursos naturales, mismas que se

<sup>2</sup> 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.

ven reflejadas en los patrones de cambio del uso de suelo. Los cambios en el uso de suelo/cobertura del terreno son un proceso ampliamente distribuido, acelerado y significativo. Los cambios en el uso de suelo/cobertura del terreno son provocados por acciones humanas, y, en muchos casos, también provocan cambios que impactan a la humanidad (*Ibid.*).

De acuerdo con Veldkamp y Fresco (1996), el uso del suelo está determinado por las interacciones en espacio y tiempo de los factores biofísicos (limitantes) como los suelos, el clima, la topografía, etc., y los factores humanos como la población, tecnología, condiciones económicas, etc. Agarwal y colaboradores (2002) proponen, para analizar los modelos de cambio de uso de suelo, un marco de trabajo basado en tres dimensiones críticas para categorizar y resumir los modelos de la dinámica hombre-ambiente. El espacio y el tiempo son las primeras dos dimensiones y proporcionan un escenario común en el que operan los procesos biofísicos y humanos. En otras palabras, los modelos de los procesos biofísicos y/o humanos operan en un contexto temporal, en un contexto espacial, o en ambos.

Los cambios en el uso de suelo comúnmente son separados de los cambios en cobertura del terreno/tipos de vegetación, a pesar de las similitudes en métodos y enfoques (Weng, 2002). De acuerdo con Brown y colaboradores (2000), en regiones de frontera con economías basadas principalmente en industrias extractivas (por ejemplo, en países en desarrollo), el uso de suelo y la cobertura del terreno son casi siempre semánticamente equivalentes. Por ejemplo, la actividad del uso de suelo asociada a la tala provoca una cobertura del terreno sin arbolado (Lambin, 1997). Sin embargo, en una economía post-moderna y dirigida por la información, como la mayoría de la Europa contemporánea y los Estados Unidos, el uso de suelo y la cobertura del terreno parecen ser menos equivalentes (Brown *et al.*, 2000).

Las probabilidades de transición han sido usadas ampliamente para el análisis y el modelaje de los cambios en el uso de suelo y la cobertura del terreno (Turner, 1987; Muller y Middleton, 1994; López *et al.*, 2001). El enfoque considera los estados de

transición como un proceso Markoviano aleatorio que solamente está condicionado por el estado inicial. Lo valioso del enfoque es que la matriz de transición puede utilizarse en forma analítica para proyectar la composición futura del paisaje (Jahan, 1986; Guttorp, 1995), o en modelos de simulación para desarrollar escenarios del paisaje alternativos (Turner, 1987).

### **Posibles causalidades para el cambio de uso del suelo en la península**

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 socioproductivos 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).

## **DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO**

La Península de Baja California (Figura 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 los Estados Unidos representa la mayor zona de congregación humana, dejando en las partes intermedias extensas zonas casi prístinas en donde los ecosistemas naturales han evolucionado casi sin presiones humanas.

### **Características biofísicas**

La Península de Baja California es una de las provincias fisiográficas definidas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

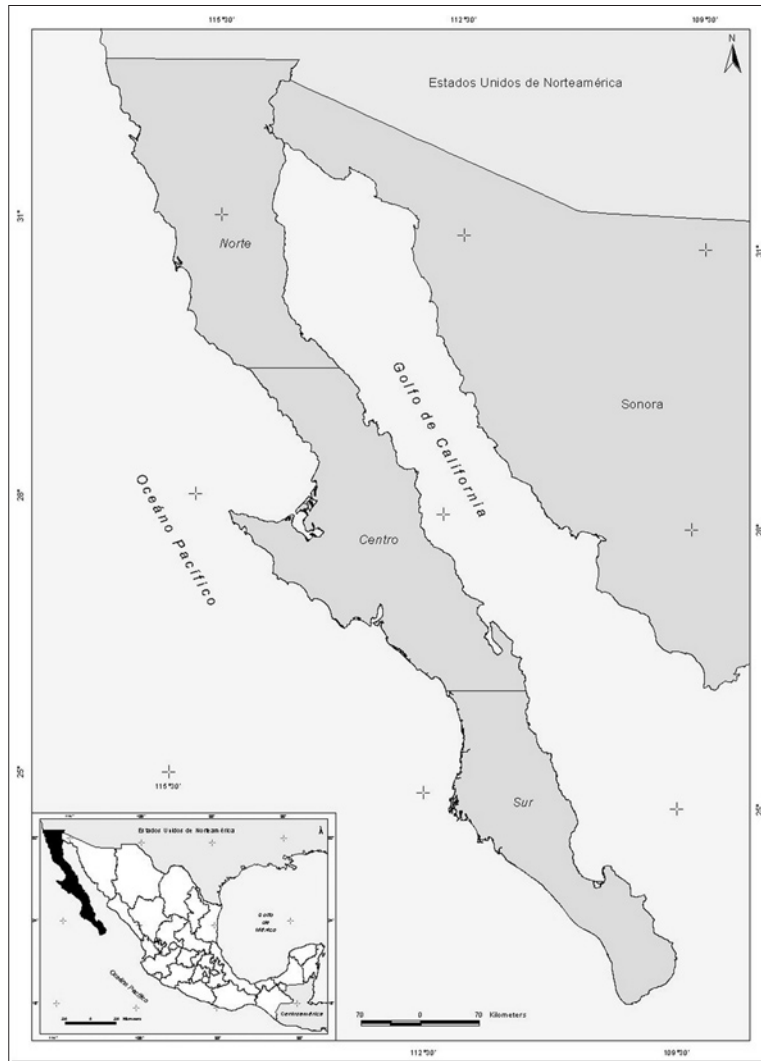


Figura 1. Localización del área en estudio. La península se dividió en tres partes, con fines de representación cartográfica, norte, centro y sur.

(INEGI) para el territorio nacional. 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 2 000 a cerca de 3 000 msnm. El origen de la península se 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 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 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 (*Ibid.*).

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. 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 (*Ibid.*).

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 semi-desérticos, como ya se indicó.

En la mayor parte de la provincia se desarrollan diversos tipos de matorrales, tales como el rosetófilo, sarcocaulle, sarcocrasicaule de neblina y el desértico micrófilo, además de vegetación de desierto arenoso. En las Sierras de Juárez y San Pedro Mártir crece la vegetación de chaparral y bosques de pino-encino; en la Sierra La Victoria crece la selva baja caducifolia y el bosque de encino y encino-pino (*Ibid.*). 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. Resaltan principalmente los grupos de plantas y reptiles, organismos que son afectados en 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 se considera que, por sus características climáticas, la recuperación de las comunidades biológicas impactadas es muy lenta, en comparación con zonas templadas subhúmedas o cálido húmedas.

### **Características socioeconómicas**

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 Estados Unidos en los municipios de Tecate y Tijuana, pero para los años noventa 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 ochenta, los municipios atractores de población fueron Ensenada, Tecate, Tijuana, Comondú y Mulegé. Para la década de los noventa 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, incrementando entonces su competitividad según esta definición. El grado de marginación municipal en 1995 es de muy bajo para todos los municipios de la península, a excepción de Loreto y Comondú que fue bajo. Las principales actividades productivas que han mostrado una tendencia ascendente entre 1980 y 1998 son: para Baja California la minería, industria, electricidad, transporte y finanzas; mientras que para Baja California Sur la minería, electricidad y finanzas (*Ibid.*).

### **METODOLOGÍA**

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: *a*) detección e interpretación cartográfica y digital del cambio, *b*) análisis de los patrones de cambio de cobertura y uso del suelo, y *c*) 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 representación 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 la escala geográfica de 1:250 000, es decir, a un nivel regional que permitiera manejar todo el territorio peninsular, de unos 142 000 km<sup>2</sup> (la península se extiende por casi 1 300 km, 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 (IGg), de la UNAM, a partir de la digitalización y reestructuración de la base de datos del mapa del 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 también por el IGg, por contrato con la SEMARNAP, a partir de la modificación y la actualización del mapa de la Serie II del INEGI, apoyándose en la interpretación visual de imágenes Landsat ETM del 2000 (Mas *et al.*, 2002).

Utilizando ambos insumos, el Instituto de Geografía, bajo contrato del Instituto Nacional

de Ecología (INE) elaboró la comparación por sobreposición cartográfica de ambas fechas (Mas *et al.*, 2004). Para ello, se homologó el sistema clasificatorio, organizado en forma jerárquica, lo que permitió contar, en este trabajo, con equivalencias entre las categorías de las diferentes fechas.

El tercer producto que se utilizó 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 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 km<sup>2</sup> y asignarlas a las entidades con las 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 la vegetación y el 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 productos, así como los nuevos atributos con los que se 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 cambios de vegetación y uso del suelo que se presentaron de un periodo a otro y para totalizar la superficie (en kilómetros cuadrados) 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.

## RESULTADOS

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 que mayor disminución sufrieron fueron el matorral xerófilo, los pastizales, la agricultura de temporal y la agricultura de riego y humedad, mientras que los tipos de vegetación 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 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 hidrófila, 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 de este 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 aquéllos originados por las actividades antrópicas.

En las Figuras 2 a 4 se pueden observar los principales cambios ocurridos durante el periodo

Tabla 1. Matriz de transición 1978-2000 para la Península de Baja California

km <sup>2</sup>	2000													
	1978	MX	MZ	P	AT	ARH	SCySC	BC	BL	BCyL	VH	OTV	ASVA	AH
Matorral xerófilo	108 521.8	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 inducidos y cultivados	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 de riego y humedad	344.4	3.0	6.9	32.9	3847.5	0.0	0.0	0.0	0.0	100.1	278.1	2.2	176.3	3.2
Selva caducifolia 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
Bosque 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

MX = matorral xerófilo, MZ = mezquital, P = pastizal, AT = agricultura de temporal, ARH = agricultura de riego y humedad, SCySC = 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.



Tabla 2. Principales cambios de tipos de vegetación entre 1978 y 2000

Principales cambios 1978-2000		
1978	2000	Superficie (km <sup>2</sup> )
Matorral xerófilo	Agropecuario	2 518.3
Matorral xerófilo	Otros tipos de vegetación	778.6
Matorral xerófilo	Área sin vegetación aparente	653.3
Agropecuario	Matorral xerófilo	487.6
Otros tipos de 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

Nota: 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.

de tiempo analizado. Destaca que la mayoría de los cambios se dieron en la planicie costera, asociados a las áreas agrícolas y a los asentamientos humanos, así como en las zonas colindantes con vegetación arbórea (bosques y selvas bajas).

Los cambios<sup>3</sup> más notorios a la escala 1:250 000 son de matorral xerófilo a pastizal, de matorral xerófilo a agricultura de riego, de matorral xerófilo a agricultura de temporal, de agricultura de riego y humedad a urbano, de matorral xerófilo a urbano, y de pastizal a urbano. Si se agrupan los cambios encontrados como procesos de cambio, se pueden identificar tres grandes procesos: desmatorralización (transformación del matorral xerófilo a uso agropecuario, a otros tipos de vegetación y a áreas sin vegetación aparente), recuperación (el paso de usos agropecuarios a matorral xerófilo y a otros tipos de vegetación, así como de otros tipos de vegetación a matorral xerófilo) y expansión de las manchas urbanas (la transformación del matorral xerófilo y los usos agropecuarios a asentamientos

humanos). En la Tabla 3 se presenta el resumen de los principales procesos de cambio analizados.

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.

Estos procesos de cambio identificados se representan espacialmente en las Figuras 6 a 8.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los cambios en la superficie ocupada por cada tipo de vegetación se pueden agrupar en dos grandes categorías: aquéllos 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 señala 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 se encuentra en la clase “otros procesos” de los mapas de procesos de cambio).

<sup>3</sup> En este trabajo se diferencian los cambios ocasionados por el hombre, como la expansión de las zonas urbanas o de la frontera agropecuaria, de los cambios ocasionados por los procesos naturales de los ecosistemas, como la hidrodinámica de los cuerpos de agua.

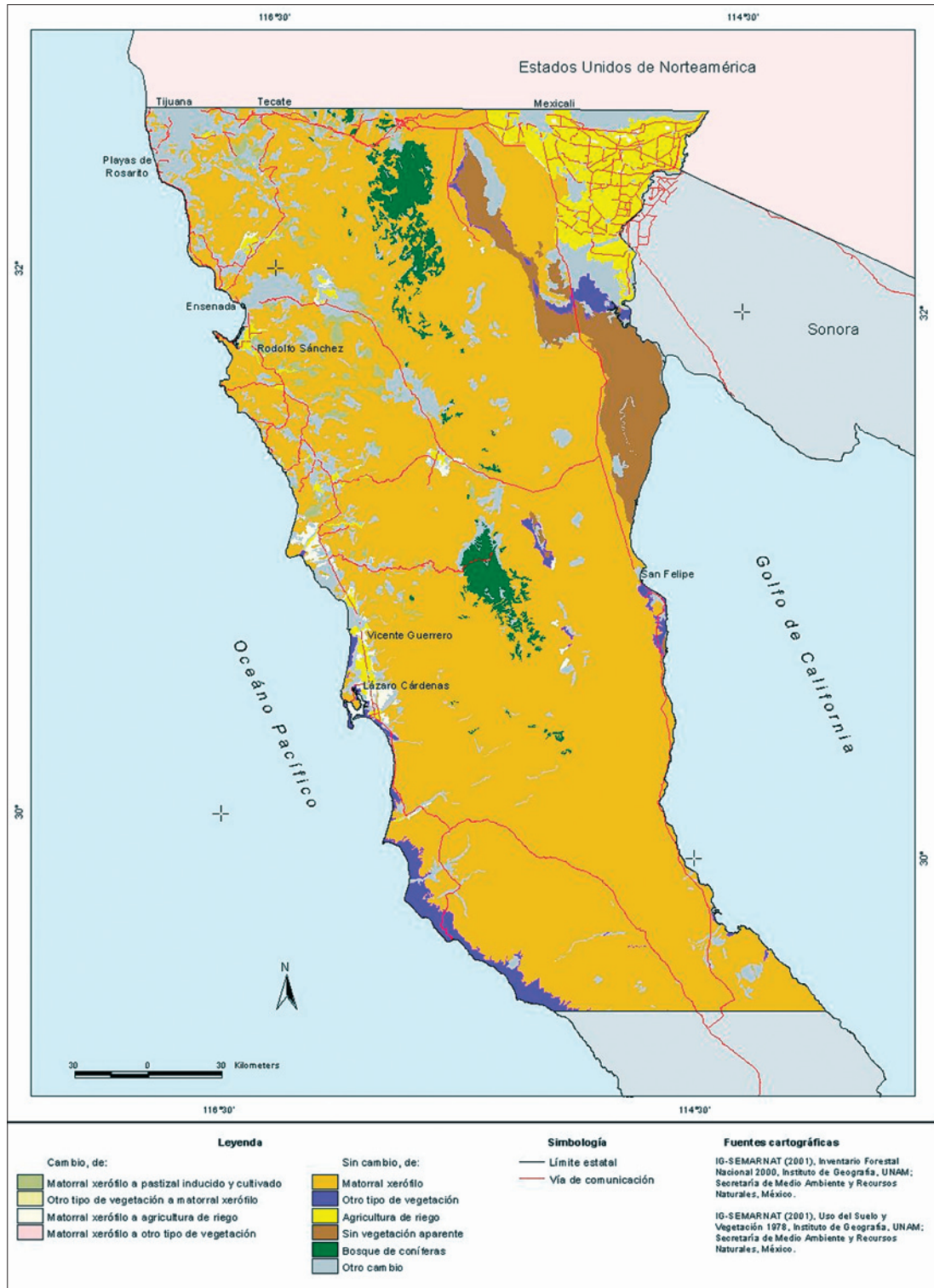


Figura 2. Mapa de cambios de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la zona norte de la Península de Baja California.

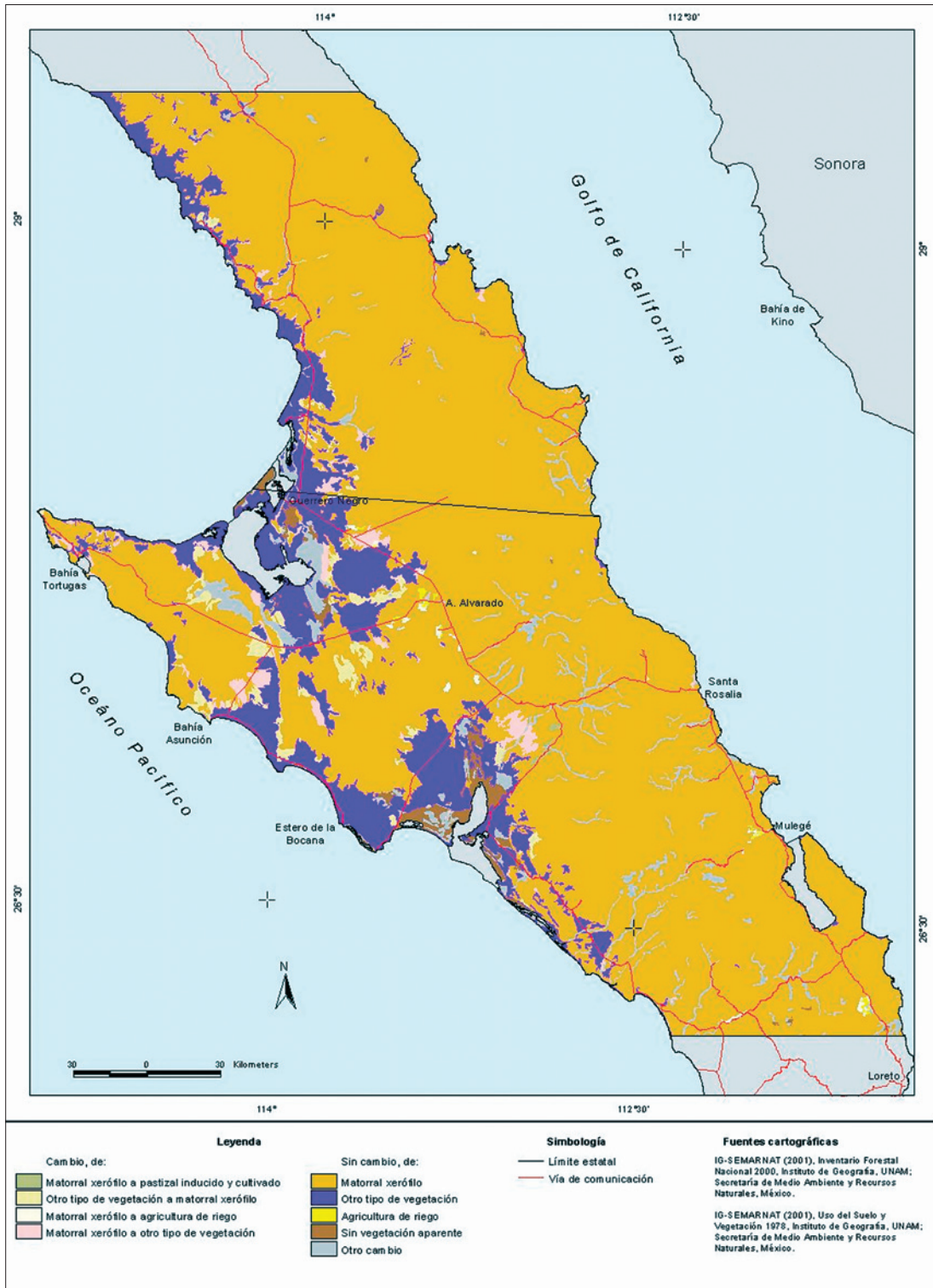


Figura 3. Mapa de cambios de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la zona centro de la Península de Baja California.

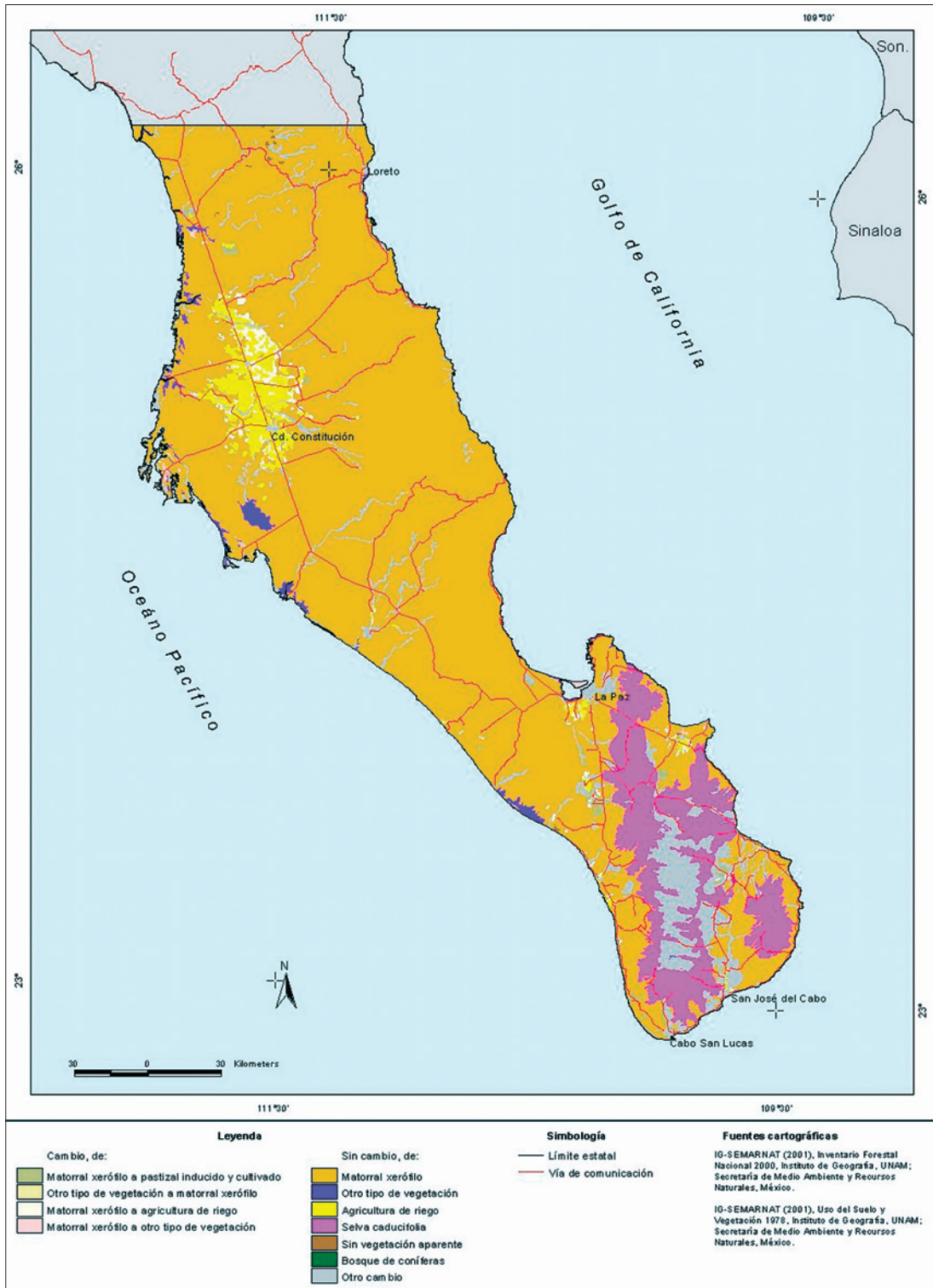


Figura 4. Mapa de cambios de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la zona sur de la Península de Baja California.

Tabla 3. Resumen de los principales procesos de cambio analizados

Procesos de cambio 1978-2000	
Proceso	Superficie km <sup>2</sup>
Permanencia de clases	130914.4
Desmatorralización	3950.2
Recuperación	1780.1
Expansión de mancha urbana	446.8
Otros cambios	3723.5

La categoría “otros cambios” está integrada por cambios relacionados con los bosques, los mezquiales, las selvas y la vegetación hidrófila existentes, además de los cambios que se dan al interior del grupo agropecuario, es decir, de pastizal a agricultura, de agricultura de temporal a agricultura de riego, y de agricultura a pastizal.

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 desmatorralización y urbanización 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

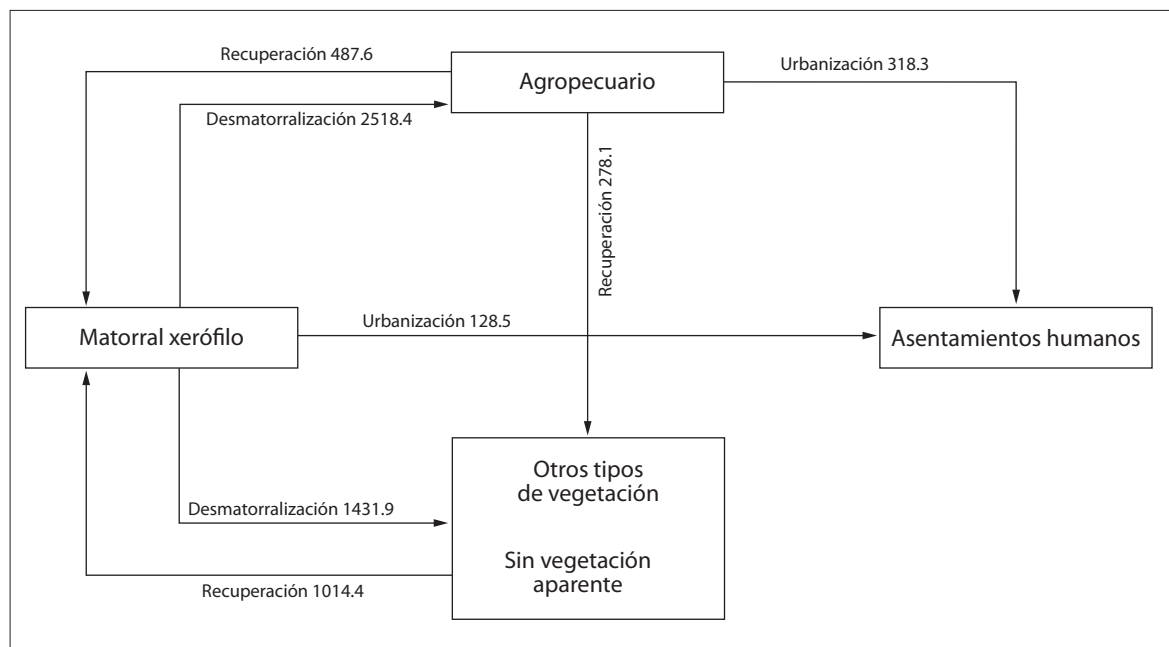


Figura 5. Diagrama de flujo de los principales procesos de cambio de uso del suelo en la Península de Baja California. Periodo 1978-2000. Las cifras están en kilómetros cuadrados.

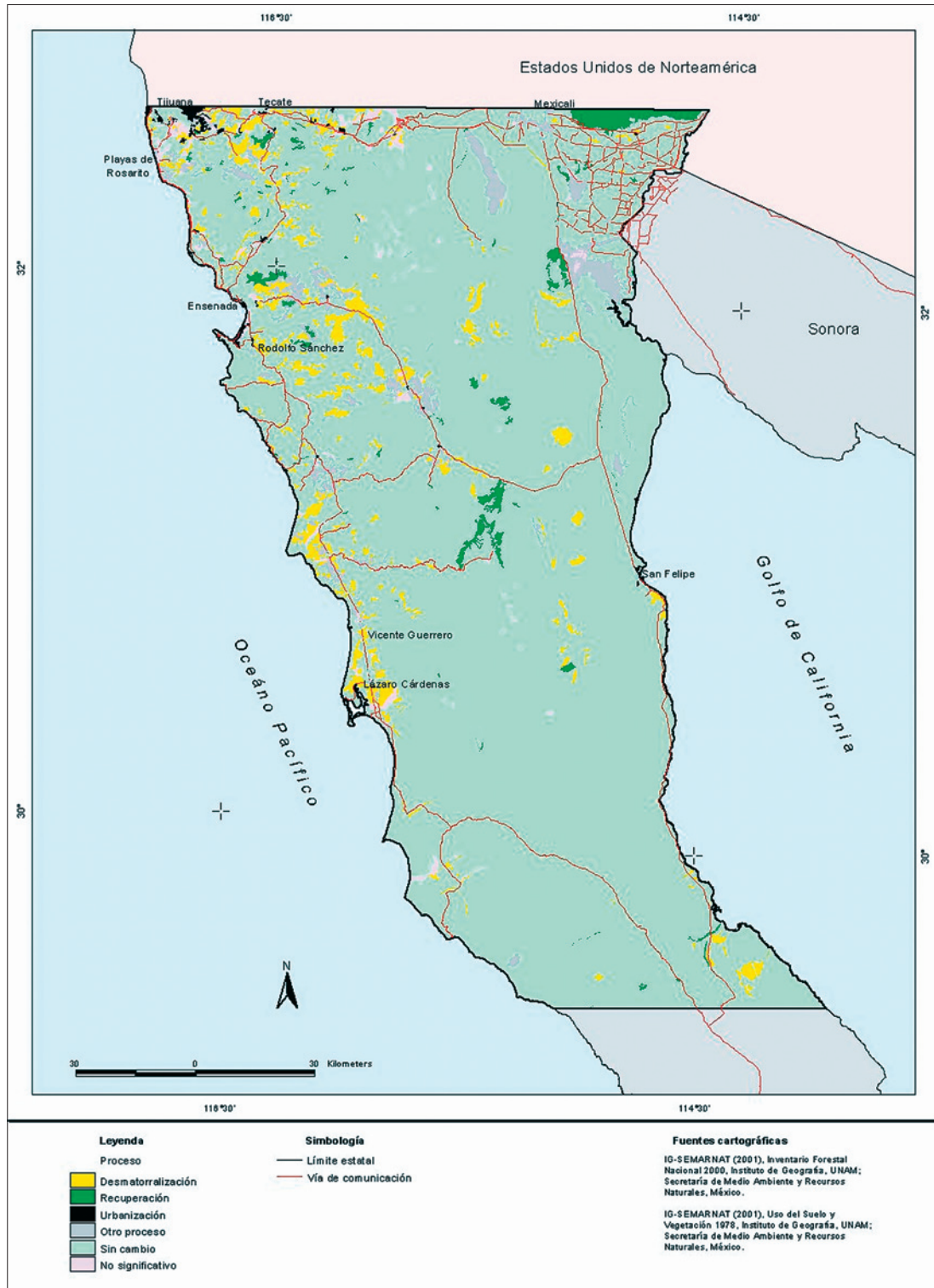


Figura 6. Mapa de los principales procesos de cambios de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la zona norte de la Península de Baja California.

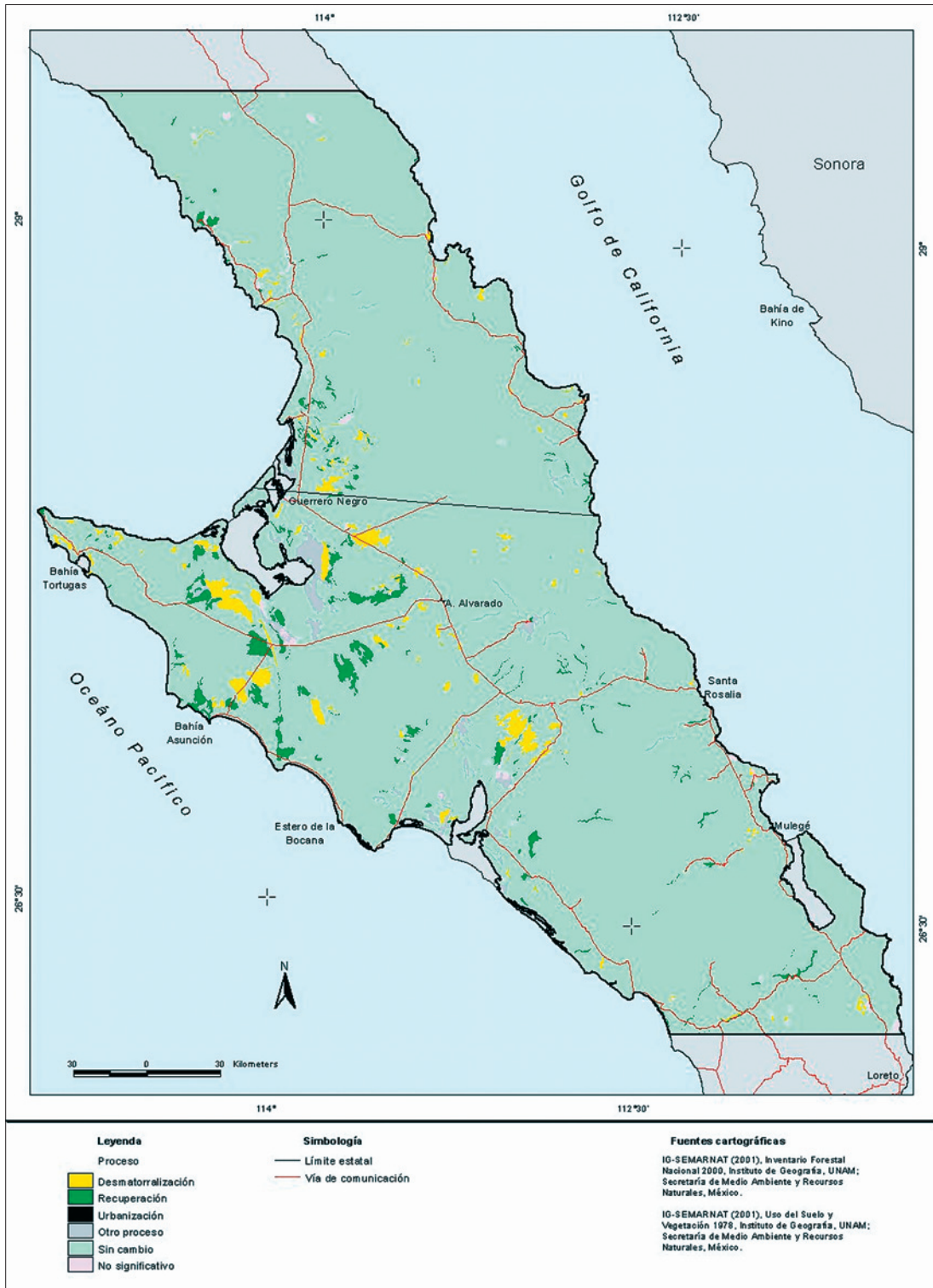


Figura 7. Mapa de los principales procesos de cambios de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la zona centro de la Península de Baja California.

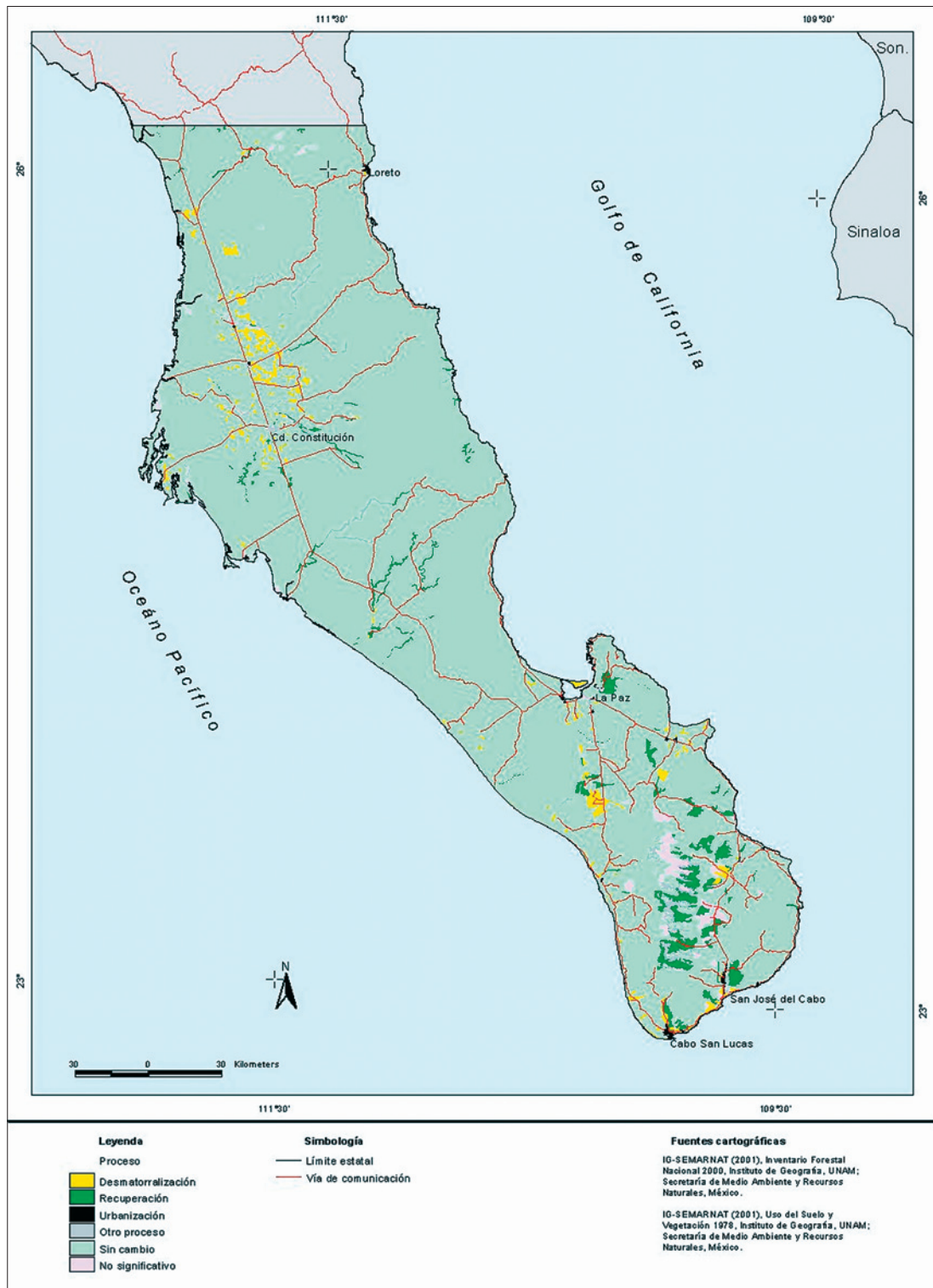


Figura 8. Mapa de los principales procesos de cambios de uso del suelo y vegetación 1978-2000 en la zona sur de la Península de Baja California.



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 un 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 el 7.7 % del territorio peninsular, en superficie representa 10 920 km<sup>2</sup>, es decir, más de un millón de hectáreas, lo que significa un promedio de casi 50 000 ha/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 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 diez de ellas, exceptuando a los asentamientos humanos, los bosques de latifoliadas y los bosques de coníferas y latifoliadas. Sin embargo, cabe resaltar que, a la 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.

Los pastizales aportan superficie a 12 clases (con excepción del bosque de coníferas y latifoliadas), pero los aportes más importantes se dan al matorral (recuperación), la agricultura de temporal y la agricultura de riego y humedad, los bosques de coníferas (recuperación) en las zonas montañosas,

y a los asentamientos humanos (urbanización). Esta clase recibe superficie de ocho clases, pero el aporte del matorral (desmatorralización) es el más importante.

En el caso de la agricultura de riego y humedad, aporta superficie a nueve clases, principalmente al matorral (recuperación), otros tipos de vegetación (recuperación) y asentamientos humanos (urbanización). Esta clase recibe superficie de ocho clases, pero la más importante es el matorral (desmatorralización), siguiendo la agricultura de temporal y el pastizal en menos magnitud.

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 400 km<sup>2</sup> 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 el 7.7% del territorio peninsular. Esto representa en superficie 10 920 km<sup>2</sup>, lo que significa un promedio de casi 50 000 ha/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).

El proceso de desmatorralización conlleva impactos negativos en el ambiente, principalmente en lo referente al mantenimiento de bienes y servicios ambientales, tales como la diversidad biológica y la protección y conservación de los suelos. También incrementa la demanda de agua para riego, ya que el incremento de la frontera agrícola de riego aumenta la demanda del recurso, escaso en la región.

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 un 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.

Por otro lado, la urbanización generada por el desarrollo de complejos turísticos aumenta los procesos de inmigración, factor que incrementa en

forma importante la demanda de recursos (como el agua), de servicios (como salud, educación, electricidad, etc.) y de vivienda, lo que se traduce en una mayor presión hacia los recursos naturales y una mayor generación de desechos, que normalmente no son bien tratados ni son manejados y dispuestos en la forma más adecuada.

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: *a*) por el agotamiento o la salinización de los mantos acuíferos utilizados para el riego, o *b*) por la emigración de los productores del campo a los centros urbanos o al extranjero.

Las clases de tipos de vegetación más dinámicas durante el periodo de tiempo analizado son, en orden de importancia, el matorral xerófilo, los pastizales y la agricultura de riego y humedad junto con la vegetación hidrófila.

Las zonas que muestran tendencias interesantes para ser estudiadas a mayor detalle son el municipio de Tijuana (expansión urbana), el corredor agrícola de San Quintín y el Valle de Santo Domingo (desmatorralización y recuperación).

## REFERENCIAS

- Agarwal, C., G. M. Green, J. Morgan Grove, T. P. Evans and C. M. Schweik (2002), *A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice*, General Technical Report NE-297, USDA, Forest Service.
- 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.

- Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera (2001), "La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 44, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 18-38.
- Brown, D. G., B. C. Pijanowski and J. D. Duh (2000), "Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA", *Journal of Environmental Management*, no. 59, pp. 247-263.
- Dirzo, R. and M. C. García (1991), "Rates of deforestation in Los Tuxtlas a Neotropical area in southeast Mexico", *Conservation Biology*, no. 6, pp. 84-90.
- Dunn, C., D. Shape, G. Gutenspergen, F. Stearns and Z. Yang (1991), *Methods for analyzing temporal changes in landscape patterns*, in Turner, M. G. and R. Gardner (eds.), *Quantitative Methods in Landscape Ecology*, Ecological Studies 82, Springer, New York, pp. 173-198.
- Farina, A. (1998), *Principles and methods in landscape ecology*, Chapman & Hall, London.
- Fernández, R., A. Martín, F. Ortega and E. Ales (1992), "Recent changes in landscape structure and function in Mediterranean region of SW Spain (1950-1984)", *Landscape Ecology*, vol. 7, no. 1, pp. 3-18.
- Forman, R. T. T. (1995). *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*, Cambridge University Press, London.
- 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.
- Guttorp, P. (1995), *Stochastic Modeling of Scientific Data*, Chapman & Hall, New York.
- Hobbs, R. (1997), "Future landscapes and the future of landscape ecology". *Landscape and Urban Planning*, no. 37, pp. 1-9.
- INE-UABC (2002), *Bases para el ordenamiento ecológico de la región escalera náutica. Componente biofísico e integración*, Informe final, INE-SEMARNAT, México.
- INE-UABC (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*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- Jahan, S. (1986), "The determination of stability and similarity of Markovian land use change processes: a theoretical and empirical analysis", *Socio-econ Planning Science*, no. 20, pp. 243-251.
- Kummer, D. M. and B. L. Turner II (1994), "The human causes of deforestation in Southeast Asia", *Bioscience*, vol. 44, no. 5, pp. 323-328.
- Lambin, E. F. (1997), "Modelling and monitoring land-cover change process in tropical regions", *Progress in Physical Geography*, vol. 21, no. 3, pp. 375-393.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velázquez and R. Aguirre (2006) "Peasant emigration and land use change", *Agricultural Systems*, no. 90, pp. 62-78.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza and E. Duhau (2001), "Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia city, Mexico", *Landscape and Urban Planning*, no. 55, pp. 271-285.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. Reyes, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández and A. Pérez-Vega (2004), "Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 5, no. 4, pp. 249-338.
- Mas, J. F., A. Velázquez, J. L. Palacio, G. Bocco, A. Peralta and J. Prado (2002) "Assessing forest resources in Mexico: wall-to-wall land use/cover mapping", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 68, no. 10, pp. 966-968.
- Mas, J. F., V. Sorani y R. Álvarez (1996), "Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación", en Percepción Remota, *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. esp. 5, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 43-57.
- Mas Porras, J. (1992), "Evolución de los recursos forestales de Michoacán hacia el año 2000", *Revista Universidad Michoacana*, núm. 3, pp. 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 and R. Dirzo (1997), "Carbon emissions from Mexican forest: current situation and long-term scenarios", *Climatic Change*, núm. 35, pp. 265-295.
- Medley, K., B. Okey, G. Barrett, M. Lucas and W. Renwick (1995), "Landscape change with agricultural intensification in a rural watershed, southwestern Ohio, USA", *Landscape Ecology*, vol. 10, no. 3, pp. 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.
- Muller, R. M. and J. Middleton (1994), "A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara region, Ontario, Canada", *Landscape Ecology*, no. 9, pp. 151-157.

- Pan, D., G. Domon, S. De Bois and 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*, no. 14, pp. 35-52.
- Rosete, F., J. A. Ordóñez 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.
- 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 and A. D. Nobre (1994), "Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia", *Bioscience*, vol. 44, no. 5, pp. 314-322.
- Trejo, I. y J. Hernández (1996), "Identificación de la selva baja caducifolia en el estado de Morelos mediante imágenes de satélite", en Percepción Remota, *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. esp. 5, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 11-18.
- Turner, M. G. (1987), "Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of three transition models", *Landscape Ecology*, no. 1, pp. 29-36.
- Turner, M. G., G. J. Arthaud and R. T. Engstrom (1995), "Usefulness of spatially explicit population models in land management", *Ecological Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 12-16.
- Velázquez, A., E. Durán, I. Ramírez, J. F. Mas, G. Bocco, G. Ramírez and J. L. Palacio (2003), "Land-use cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico", *Global Environmental Change*, no. 13, pp. 175-184.
- Veldkamp, A. and L. O. Fresco (1996), "CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects", *Ecological Modeling*, no. 85, pp. 253-270.
- Vitousek, P. M. (1994), "Beyond global warming: ecology and global change", *Ecology*, no. 75, pp. 1861-1876.
- Weng, Q. (2002). "Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling", *Journal of Environmental Management*, no. 64, pp. 273-284.
- Zonneveld, I. S. (1995), *Land Ecology*. SPB Academic Publishing, Amsterdam.