

# La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación

Gerardo Bocco\*  
Manuel Mendoza\*  
Omar R. Maserá\*

Recibido: 30 de junio de 1999  
Aceptado en versión final: 18 de enero de 2000

**Resumen.** Este trabajo intenta contribuir a mejorar la comprensión de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo en el tiempo, a nivel regional. A este efecto, formulamos una estrategia de cuantificación y explicación del cambio que puede ser utilizada en casos similares. El enfoque que se propone se verifica mediante un estudio para el estado de Michoacán durante el período de la década de los años setenta-noventa a escala 1:250 000.

Los resultados obtenidos indican que, en un lapso de 18 años, se perdieron en Michoacán 513,644 ha de bosques templados y 308 292 ha de selvas, correspondientes a tasas de deforestación de 1.8% y 1% anual respectivamente. Adicionalmente, 20% de la superficie con bosques y selvas sufrió un proceso de degradación. Existen diferencias significativas a nivel municipal.

A escala estatal, las hipótesis que sugieren cambios debidos a presión demográfica, o por factores ligados a necesidades de subsistencia no operan. Los cambios más importantes tanto para bosques como para selvas ocurren en zonas relativamente remotas, con baja presión demográfica, y no están generando actividades productivas alternas para la población del estado. Aparentemente, los procesos de pérdida y deterioro de bosques y selvas ocurren más por un descontrol en la actividad forestal que como resultado de una política explícita de desarrollo económico no sustentable.

**Palabras clave:** Cambio de cobertura y uso de suelo, métodos y técnicas de análisis, deforestación, Michoacán.

## The dynamics of land-use change in the State of Michoacán. A methodological proposal for the study of deforestation processes

**Abstract.** This piece of research aims to contribute to the understanding of the processes governing changes in land cover and land-use at a regional level. We formulated a method to quantify and explain the change, that might be used in similar cases elsewhere. The approach is tested in the state of Michoacán, considering two decades (70's and 90's) and using a 1:250 000 cartographic scale.

The results obtained indicate that in a period of 18 years, Michoacán lost 513 644 ha of temperate forests and 308 292 ha of tropical forests. The corresponding deforestation rates are 1.8% y 1% per year, respectively. Additionally, 20% of the area originally covered by forests underwent a degradation process. There are significant differences in the extent and rate of the deforestation process at the municipal level.

At a state level, those hypotheses that suggest demographic pressure or subsistence needs as triggering factors do not seem to operate. Major changes for temperate and tropical forests occur in relatively remote and abrupt areas with a low demographic pressure that are not generating alternate productive activities for the population. Apparently, deforestation and forest-deterioration patterns are more likely derived from a lack of control of forest exploitation rather than from incorrect economic development policies.

**Key words:** Land-use change, analytical methods and techniques, deforestation patterns, Michoacán.

---

\*Instituto de Ecología, UNAM (Campus Morelia). AP 27-3. Xangari. 58089 Morelia, Mich. Fax: 43 200830. E-mail: gbocco@oikos.unam.mx; mmendoza@oikos.unam.mx y omasera@oikos.unam.mx

## INTRODUCCIÓN

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. La mayor parte de los cambios ocurridos en ecosistemas terrestres se deben a: a) conversión de la cobertura del terreno, b) degradación del terreno y c) intensificación en el uso del terreno (Lambin, 1997): Estos procesos, usualmente englobados en lo que se conoce como deforestación o degradación forestal, se asocian a impactos ecológicos importantes en prácticamente todas las escalas. Localmente inducen la pérdida y degradación de suelos, cambios en el microclima y pérdida en la diversidad de especies; regionalmente afectan el funcionamiento de cuencas hidrográficas y de asentamientos humanos; a nivel global, coadyuvan a las emisiones de gases de efecto invernadero que dan por resultado el problema del cambio climático global.

Una forma de evaluación de los cambios en el uso del suelo es a partir de la medición de los cambios en la cobertura vegetal y no vegetal del mismo. Tradicionalmente, la medición de cambios de cobertura vegetal y uso del suelo se realiza sobre documentos generados mediante percepción remota (usualmente, fotografías aéreas e imágenes de satélite) o cartografía temática de cobertura. En forma pragmática, el concepto de cobertura describe los objetos que se distribuyen sobre un territorio determinado. Uso del suelo, en cambio, se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan (o desarrollaron) sobre una cobertura (Anderson *et al.*, 1976). Estas actividades se relacionan con la apropiación de recursos naturales para la generación de bienes y servicios.

El caso más claro de cambio en el uso del terreno es la deforestación en las regiones tropicales. Se ha estimado que la conversión en la cobertura forestal tropical ha alcanzado un promedio de 15.5 millones de hectáreas por año para el período de 1981-1990, lo cual se traduce en una tasa anual de deforestación

de 0.8%. Aproximadamente 50% del cambio ocurre en Latinoamérica (FAO, 1995). Históricamente la deforestación ha sido particularmente notable en el oeste del continente africano, donde los bosques han sido reducidos en un 44%; en América Latina, en un 32%, y en el sur y sudeste de Asia 34% (Houghton, 1994).

El proceso de degradación del terreno implica una declinación en la condición natural del recurso base. Una síntesis de la investigación global acerca de la degradación del terreno inducida por el ser humano estima que el 69.5% de las tierras se encuentran afectadas por varias formas de degradación del terreno (Lambin, 1997). Asimismo, la transformación humana de los hábitats naturales es la mayor causa de pérdida de diversidad biológica (Lee *et al.*, 1995).

No obstante, los datos cuantitativos sobre dónde, cuándo, cuánto y por qué cada cambio de uso y cobertura ocurre están aún incompletos, y generalmente son inexactos (Lambin, 1997). Asimismo, existen problemas de indefinición en los parámetros que se requiere estudiar. Por ejemplo, en la precisión en el muestreo y medición de las variables, y en el tipo de leyendas de las representaciones espaciales (Bocco, 1998). Como consecuencia, muchas veces los estudios de cobertura vegetal en diferentes períodos de tiempo no son comparables entre sí (Masera, 1996).

Entender el impacto que ocasiona el cambio de uso y cobertura del terreno, significa estudiar factores ambientales y socioeconómicos que afectan su uso. Sin embargo, no existen análisis cuantitativos de la importancia relativa de estos factores con el cambio de la cobertura y 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; Kummer y Turner II, 1994).

En México, estudiar la magnitud, dinámica y causalidad de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo es una tarea priori-

taria. Nuestro país está entre los países con mayor deforestación a nivel mundial; para inicios de los años noventa se perdían anualmente 720 000 ha de bosques, selvas y vegetación semiárida (Masera *et al.*, 1997). Existen asimismo 22 millones de hectáreas de áreas originalmente forestales que están actualmente degradadas (SARH, 1994). En comparación, la restauración de áreas forestales alcanza menos de 60 000 ha/año (Poder Ejecutivo Federal, 1999). Los patrones de deforestación varían notablemente por regiones, con cerca del 80% concentrado en las regiones centro y sur del país (Masera, 1996).

Sin embargo, son muy escasos los estudios detallados y actualizados que permiten determinar los niveles actuales de pérdida de cobertura forestal, su expresión espacial y las variables socioeconómicas y ambientales que inciden sobre ellos. Estudios de caso regionales conducidos con diferentes técnicas y metodologías han reportado tasas de deforestación entre 1%/año y 8%/año dependiendo de la región, tipo de vegetación y período estudiado (Dirzo y García, 1991; Mendoza, 1997, Rosete *et al.*, 1997, Sierra de Santa Marta, 1996; Trejo y Hernández, 1996, Mas *et al.*, 1996). La mayor parte de los estudios se ha concentrado en el trópico húmedo y no incluye un análisis de los factores causantes del cambio de uso del suelo. Entre las excepciones, Mendoza (1997) relacionó las tasas de deforestación para la selva Lacandona con parámetros demográficos y de infraestructura. En un estudio de los bosques del centro de México, Mas *et al.* (1996) utilizaron datos de altitud, pendiente y distancia a carreteras para generar un modelo de simulación de carácter espacial del proceso de deforestación con un coeficiente de predicción de entre 0.25 y 0.59. En general, puede decirse que los métodos para estandarizar la cartografía, la cuantificación y el análisis en este tipo de procesos aún no están bien establecidos y estandarizados.

El objetivo del presente trabajo es contribuir a mejorar la comprensión de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo en el

tiempo, a nivel regional. A este efecto, formulamos una estrategia de cuantificación y explicación del cambio que puede ser utilizada en casos similares. Por tal motivo, en el artículo hacemos énfasis en la descripción del método propuesto. El enfoque que se propone, se verifica mediante un estudio para el estado de Michoacán durante el período de los años setenta-noventa a escala 1:250 000.

Analizar la dinámica del cambio en el estado de Michoacán es relevante porque: a) constituye el estado en el que se han reportado históricamente algunos de los procesos más intensos de deforestación y degradación forestales en el país (SARH, 1991); b) presenta la posibilidad de analizar tanto el cambio en cobertura para zonas templadas como tropicales; c) su diversidad biológica es muy alta (Toledo y Ordóñez, 1993); d) económicamente es de gran importancia forestal al concentrar el segundo polo industrial del ramo a nivel nacional (SEMARNAP, 1996).

## ÁREA EN ESTUDIO

El estado de Michoacán (Figura 1), que cuenta con casi 60 000 km<sup>2</sup> y poco menos de 4 000 000 habitantes, ha sufrido intensos cambios de uso de suelo durante las últimas décadas. Sus tasas de deforestación están entre las más altas de México y Latinoamérica. Los índices de pobreza y marginalidad son importantes, las tasas de migración a los Estados Unidos son muy altas, y existe una marcada etnicidad en varias de sus regiones, en especial, la Meseta Purépecha. El clima varía de cálido seco en la costa, a templado y semiárido en la zona continental, dependiendo de la altitud. Las elevaciones oscilan del nivel del mar a casi 4 000 msnm en el Pico del Tancítaro. Las principales regiones fisiográficas representadas en el estado son la Altiplanicie Mexicana, el Sistema Volcánico Transversal, la Sierra Madre del Sur, la Depresión del Balsas y la Costa Pacífica.

En zonas templadas, la vegetación natural incluye al bosque mixto, representado por los siguientes tipos de vegetación: bosque de abetos, bosque de pinos, bosque de pino-encino, bosque de encino. En zonas cálido-

secas el tipo de vegetación dominante es la selva baja caducifolia. La vegetación transformada incluye los pastizales inducidos, los pastizales cultivados, el matorral secundario y el bosque cultivado.

## MÉTODOS Y TÉCNICAS

Analizar el proceso de cambio de uso y cobertura del suelo a nivel regional 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 la causalidad del cambio de uso. Adicionalmente se pueden utilizar modelos predictivos para generar escenarios sobre la posible evolución futura de la deforestación. Este trabajo cubre los tres primeros puntos.

### Interpretación cartográfica y digital del cambio de uso del suelo

Para cubrir esta parte del análisis se siguieron los siguientes pasos secuenciales:

1. Regionalización geomorfológica a escala 1:250 000 a partir de mapas topográficos y geológicos a escalas 1:50 000.
2. Formulación de una leyenda adecuada de cobertura del terreno para la escala del trabajo; diseño de las bases de datos del sistema de información geográfica (SIG); selección de la referenciación espacial y proyección cartográfica común para los datos.
3. Conversión y edición en formato digital de la cartografía de cobertura del terreno de INEGI a escala 1:250 000 para la década de 1970.
4. Interpretación de la cobertura del terreno sobre espacio-mapas (imágenes de satélite Landsat TM impresas) de INEGI a escala 1:250 000. La cobertura reciente del suelo se interpretó sobre imágenes de satélite, específicamente sobre los cinco espacio-

mapas de INEGI a escala 1:250 000, correspondientes al estado de Michoacán. Se trató de impresiones en papel de composiciones "falso" color (multi-espectrales, bandas infrarrojo cercano y visibles, obtenidas por el Mapeador Temático de Landsat en la estación seca de 1993). Estos datos se interpretaron en forma visual, utilizando, por un lado, claves estándar de fotointerpretación monoscópica (tono, color, patrón, textura, tamaño, forma, emplazamiento), y por otro, verdad de campo adquirida en reconocimientos y verificación en el terreno, así como en la bibliografía disponible. El total de puntos de verificación (campo y bibliografía) fue de 199, de los cuales 80 se realizaron a lo largo de transectos en campo (Bocco *et al.*, 1998). Esta interpretación da como resultado los mapas de cobertura del suelo (reciente), a escala 1:250 000. Los mapas fueron digitalizados, etiquetados y sometidos a un proceso de verificación del etiquetamiento y corrección de polígonos. Las clases de cobertura utilizadas en la comparación fueron: asentamientos humanos, cultivos y parcelas, cuerpos de agua, pastizal-matorral, bosque mixto, selva baja caducifolia y suelo desnudo. Su descripción se presenta en el Apéndice 1 (Rzedowski, 1978).

5. Digitización y edición de la interpretación en el SIG; verificación de calidad de datos. El sistema automatizado que se utilizó en este proyecto fue ILWIS (1990; 1997). Este sistema funciona en plataformas PC, dispone de bases de datos vectoriales y en celdas, de herramientas analíticas espaciales, así como de un módulo de resección fotogramétrica. Los datos de cobertura de los años setenta, así como de municipios fueron obtenidos del Instituto de Geografía de la UNAM, ambos en formato digital. Ambas bases de datos fueron convertidas al formato del SIG del proyecto, posteriormente editadas y generalizadas considerando la leyenda

seleccionada de la cobertura; las bases se poligonizaron y organizaron cada una en forma de mosaico único e incorporados al SIG bajo la proyección UTM. Los datos de municipios fueron además codificados de tal manera que cada municipio quedara ligado coherentemente a las bases de datos censales. Los datos de regionalización geomorfológica (Bocco y Mendoza, en prensa) y cobertura de los años noventa (Bocco *et al.*, 1998) fueron digitalizados manualmente utilizando una tableta digitalizadora estándar, editados, poligonizados y organizados cada uno como un mosaico, bajo la misma referencia geográfica anterior. La verificación de la calidad del etiquetamiento se describe en términos de un caso binomial de criterio de éxito-fracaso (Bocco y Riemann, 1997). Esto puede ser representado como un experimento de Bernoulli, con dos posibles resultados, correcto (la etiqueta del polígono en la base de datos digital corresponde a la etiqueta del mapa en papel) o incorrecto (el polígono dado fue incorrectamente etiquetado). En este caso, se procede a corregir el error, y reiniciar el procedimiento. El muestreo finaliza cuando se alcanza el requerimiento de confianza establecido por el usuario.

6. Captura y edición del mapa de municipios y bases de datos de censos en el SIG; selección de variables demográficas y económicas relevantes; re-clasificación de los municipios según variables relevantes.
7. Sobreposición cartográfica y cálculo de la diferencia en coberturas 70-90 en el SIG tanto por tipo de cobertura como por municipios. Los datos de cobertura se sobrepusieron cartográficamente y se cuantificó la intersección de cada clase de los años setenta con cada clase de los años noventa, obteniéndose una matriz de  $n \times m$  clases, donde  $n$  y  $m$  son respectivamente el número de categorías mapeadas en cada fecha. Así, se obtuvo el cambio de cobertura, por clase en ha. Se extrajeron las áreas bajo cambio de bosque y selva, y se sobrepusieron cartográficamente a las regiones geomorfológicas para cuantificar, por un lado, la relación entre deforestación y relieve. Por otro, se sobrepusieron a los municipios, para calcular el porcentaje de cada municipio que se encuentra afectado por procesos intensos de cambio de cobertura y uso. A continuación se describen los elementos centrales del método seguido.

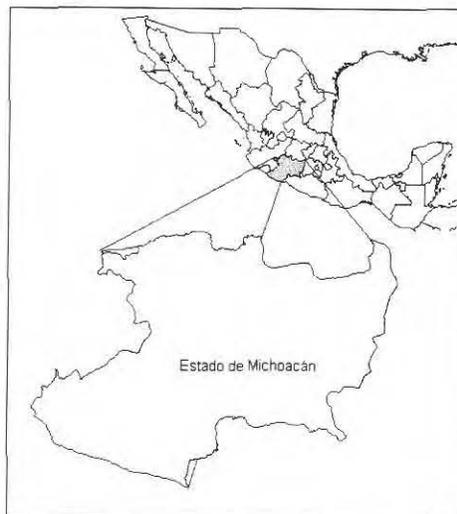


Figura 1. Localización del área en estudio.

## Análisis del patrón de cambio de uso del suelo

Para esta parte del análisis se incluyó el cálculo de las tasas de deforestación por tipo de cobertura forestal, la determinación de las matrices de transición de cambio de uso del suelo y la regionalización del proceso de deforestación mediante el cálculo de un índice compuesto por municipio.

### Cálculo de la tasa de deforestación

Se calcularon las tasas de deforestación de bosques y selvas para el estado, y por municipio, mediante un modelo exponencial discreto (ecuación 1).

$$N = (1+r)^t N_0 \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

$N_0$  = superficie forestal en el tiempo 1

$N$  = superficie forestal en el tiempo 2

$r$  = tasa de deforestación anual

$t$  = diferencia del tiempo en años.

De dicha ecuación se despeja " $r$ ", y se multiplica por 100 para obtener una tasa de deforestación en porcentaje (ecuación 2).

$$r = 100 \cdot 1 - (N/N_0)^{1/t} \quad (\text{ecuación 2})$$

### Construcción de las matrices de transición

Normalmente los análisis de deforestación consideran al paisaje como binario (bosque, no bosque) y obtienen tasas de cambio y predicciones basadas en este supuesto. En la realidad, sin embargo, el paisaje puede concebirse más adecuadamente como un mosaico de usos y coberturas que se encuentran en un proceso de cambio desde y hacia las diferentes categorías de uso. Por ejemplo, un bosque no pasa siempre de forma directa a un uso agrícola, sino que puede convertirse en bosque degradado; este último, a su vez, puede ser

abandonado y volver a recuperar su cobertura forestal. La forma de "capturar" analíticamente la dinámica del mosaico completo de usos y coberturas del suelo es a través de las matrices de transición (FAO, 1996).

En este estudio se construyeron dos matrices de transición con las superficies obtenidas de los mapas de cambios. A partir de las matrices de transición de uso de suelo se construyeron las matrices de probabilidad de transición para cada una de las clases de cobertura/uso seleccionadas. Se supuso que la probabilidad de transición ( $P_{ij}$ ) de cada clase de la matriz es proporcional a la superficie remanente de la misma clase entre los años setenta y noventa.

Su expresión matemática es:

$$P_{ij} = S_{ij} (1990's) / S_j (1970's) \quad (\text{ecuación 3})$$

Donde  $S_{ij}$  es la superficie del elemento "ij" de la matriz de transición de uso del suelo en los noventa y " $S_j$ " la superficie de la clase de cobertura/uso del suelo "j" en los setenta. De esta manera, para cada categoría de uso de suelo "j",  $\sum P_{ij} = 1$

### Estratificación municipal del cambio de uso del suelo

Los procesos de deforestación analizados presentaron una gran heterogeneidad geográfica dentro del estado. Con el fin de determinar las zonas más críticas de acuerdo con su grado de deforestación se realizó una zonificación de los municipios. Se construyó un índice de deforestación ( $ID_m$ ) que toma en cuenta tanto la pérdida forestal en porcentaje en cada municipio ( $CAM\%F$ ) como la pérdida forestal total por municipio ( $CAMTF$ ; ecuación 5).

$$ID_m = IDCAMF\%_m + IDCAMTF_m \quad (\text{ecuación 5})$$

Donde:

$$IDCAMF\%_m = CAMF\%_m / CAMF\%_{max};$$

$$IDCAMTF_m = CAMBTF_m / CAMBTF_{max};$$

y donde:  $CAMF\%_{max}$  y  $CAMBTF_{max}$  son los

municipios que presentaron el máximo porcentaje y superficie deforestada, respectivamente.

## CAUSAS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO

Para realizar esta parte del análisis se partió de la hipótesis que la dinámica del cambio es desencadenada y controlada por factores demográficos y las consecuentes actividades productivas. Para explorar las posibles causas de los procesos de cambio de uso del suelo se realizó un análisis de regresión múltiple entre los cambios de la cobertura por municipio y los cambios en variables socioeconómicas y demográficas seleccionadas también a este nivel. Este tipo de análisis ha sido realizado frecuentemente para estudiar las causas de la deforestación a nivel de países o regiones (Allen y Barnes, 1985; Kamaljit y Dayananchan, 1997).

Se analizó, a nivel municipal, la correlación entre los cambios de cobertura forestal y las variables socio-económicas (INEGI, 1970; 1990) potencialmente útiles para el modelo explicativo. Se correlacionaron las variables cambio en superficie con bosques, cambio en superficie con selvas y cambio en superficie forestal total con las variables, cambio en la población total, urbana y rural; cambio en la población indígena, bilingüe y monolingüe; cambio en las viviendas totales y con uso de leña y cambio en la población económica activa (PEA) primaria.

De estas variables se seleccionaron aquéllas no correlacionadas entre sí, y se construyó un modelo de regresión lineal múltiple para correlacionar cambios en la cobertura forestal con cambios en las variables socioeconómicas.

La ecuación de regresión múltiple general utilizada fue:

$$\text{CAMF} = \sum b_i * \text{CAMBS}_i + e \quad (\text{ecuación 4})$$

Donde CAMBF es el cambio en la superficie forestal, separado para cambio total, cambio de bosques y selvas, CAMBS<sub>i</sub> el cambio en cada una de las "i" variables socioeconómicas seleccionadas y e es el error.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Cuantificación del cambio de cobertura y evaluación del error

En la clasificación original, el mapa de cobertura de los años setenta se compone de nueve clases mientras que el de los años noventa presenta 11. Las dos nuevas clases corresponden a bosques abiertos y selvas abiertas. Las clases fueron reclasificadas con intención de realizar el análisis espacial y de facilitar su representación (Figuras 2 y 3). En este trabajo, la delimitación de las clases abiertas correspondió a aquellas zonas donde se presentaba menos de 50% de selva o bosque por unidad delimitada (Apéndice 1). En primera instancia se realizó una sustracción de las superficies ocupadas por las clases de cobertura de los setenta y los noventa. En el Cuadro 1 se aprecia que 60% de la cobertura del estado en los años setenta correspondía a bosques templados y a selvas bajas caducifolias, mientras que en 1993 estas clases se redujeron en alrededor de 13%. Adicionalmente, 20% de bosques y selvas sufrieron un proceso de degradación –es decir, pasaron de bosques y selvas cerrados a bosques y selvas abiertos. Si se considerara a los bosques abiertos simplemente como cobertura no forestal –como en general en los inventarios forestales– la deforestación en el período alcanzaría 33%. La disminución de bosques y selvas en el estado es de 513 644 y 308 292 ha, respectivamente, en este período.

La tasa de deforestación estatal calculada con la ecuación 2 considerando un período de 18 años (1975-1993) indicó que los bosques pierden 1.8% de superficie anualmente, mientras que las selvas presentan tasas de deforestación de 1% anual.

En relación con el error detectado en la cuantificación, todas las clases fueron aceptadas con al menos un 95% de exactitud en cuanto al etiquetamiento. En lo que respecta a la incoherencia de la interpretación, relacionada con la naturaleza de las fuentes de datos (INEGI *versus* datos propios), se detectaron errores debidos, por un lado, a nuestra generalización de las clases de INEGI para poder

compararlas con el mapeo sobre espacio-mapas a escala 1:250 000. Por otro, existen diferencias entre los resultados obtenidos mediante generalización de una interpretación (caso INEGI 1970), y los obtenidos de una interpretación directa a escala pequeña. En este estudio, estas incoherencias fueron detectadas durante la sobreposición cartográfica. En general se corrigieron tomando como referencia la interpretación más fina (INEGI). El error remanente, sin embargo, en nuestra base de datos, fue estimado en el orden de 10% (detalles en Bocco y Mendoza, 1999).

### Cambio por tipo de relieve

Los cambios de selva y bosque se calcularon por tipo de relieve. La idea fue detectar el tipo

de ambiente en que se produjeron los mayores cambios. El relieve fue reclasificado en sólo tres clases: relieve plano (valles, planicies y altiplanicies), relieve transicional (piedemontes) y relieve escarpado (colinas, lomeríos y seirras). El mayor porcentaje de cambios se da en la última clase, con 91.2 y 81.8% para bosques templados y selvas secas respectivamente (Cuadro 2). En otras palabras, los procesos de cambio intenso de uso de suelo se están produciendo en zonas que deberían dedicarse al manejo forestal sustentable y a la conservación. Los cambios mayores en zonas relativamente planas o de escaso relieve ya habían sido efectuados con anterioridad al período de comparación. La detección y explicación de los cambios actuales seguramente requiere de análisis más detallados.

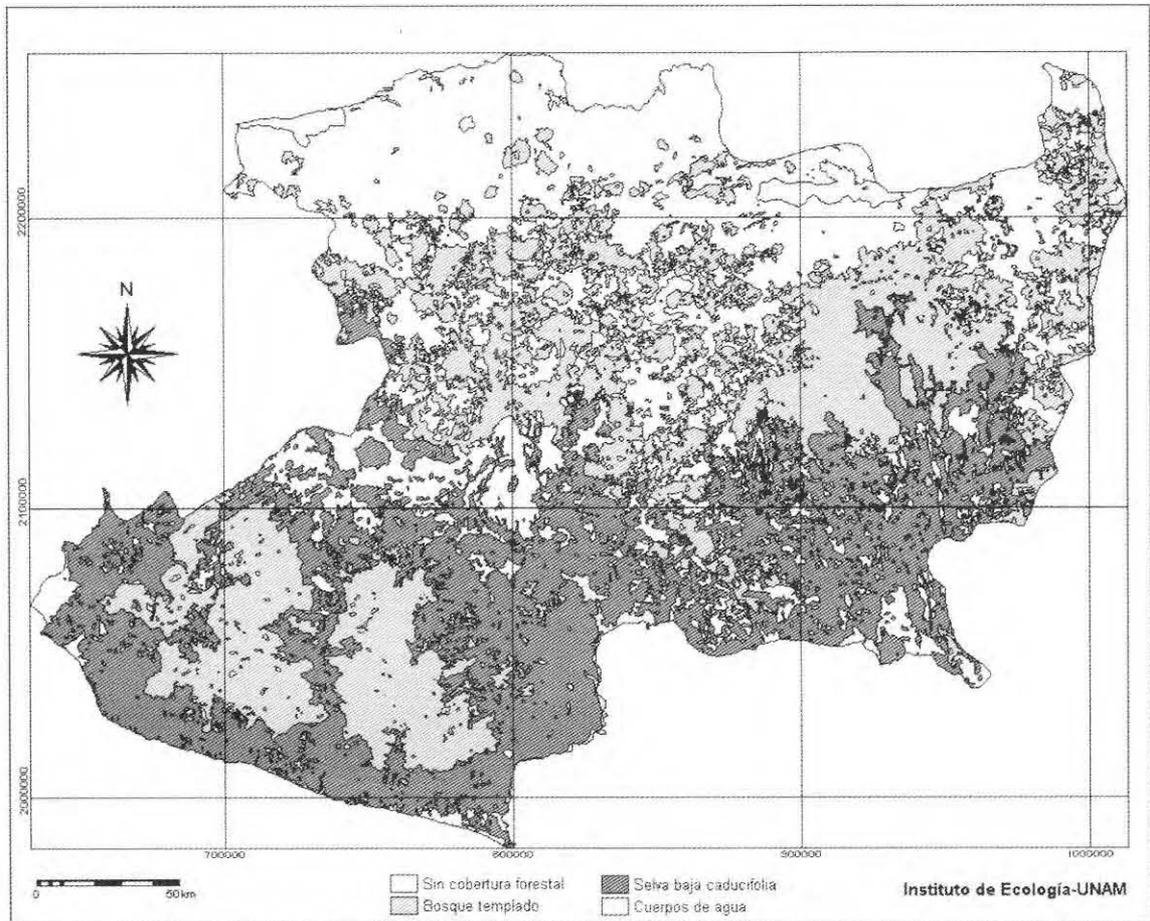


Figura 2. Cobertura forestal de Michoacán en 1973.

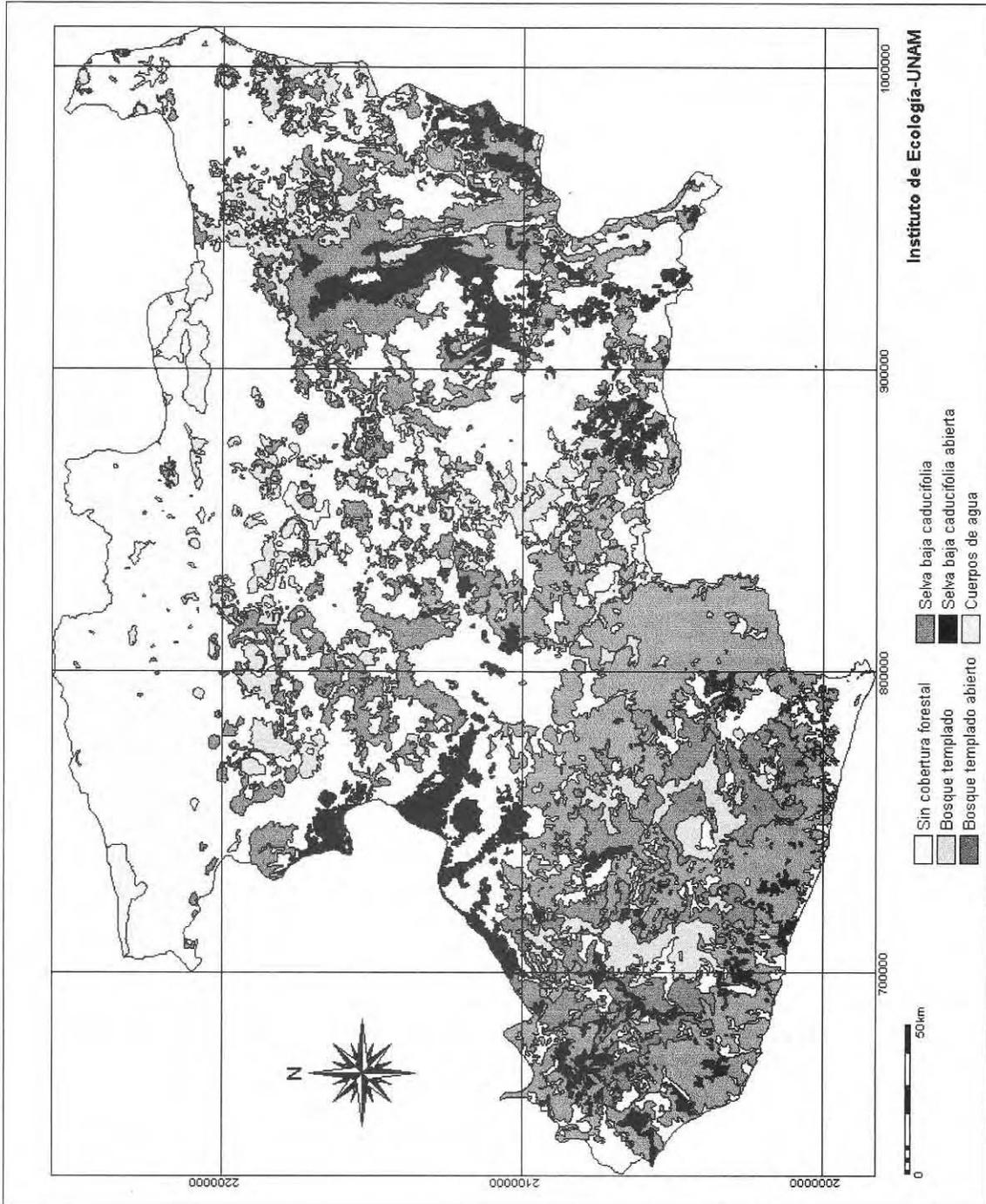


Figura 3. Cobertura forestal de Michoacán en 1993.

### Deforestación por municipios

La sobreposición del mapa de cambios de bosque y de selva por municipio indica que de los 113 municipios que conforman la entidad, 106 sufrieron cambio de bosque, y 41 sufrieron cambio de selva durante este período. Es importante resaltar que 58 municipios presentan una reducción de al menos 30% o más en bosques. Los municipios más afectados en orden ascendente son: Lagunillas, Tocumbo, Aporo, Susupuato,

Taretan, Tingambato, Madero, Ziracuaretiro y Contepec.

Por otra parte, existen 15 municipios con cambios superiores a 30% de selva en su superficie, entre los más afectados se encuentran: Epitacio Huerta, Zitácuaro, Ario, Turicato, Tacámbaro, Paracuaro, Jungapeo, Carácuaro, Nocupétaro, Gabriel Zamora y Lázaro Cárdenas. Cuatro municipios con bosques y tres con selvas presentan tasas entre 10 y 20% anual, respectivamente (Apéndice 2).

Cuadro 1. Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en Michoacán. Suma algebraica de las superficies por clase

Clase de cobertura	1970's		1990's		Cambio de la superficie ha
	ha	%	ha	%	
Cuerpos de Agua	101 176	1.7	95 332	1.6	-5 844
Cultivos semipermanentes	39 784	0.7	508 148	8.5	468 364
Cultivos anuales	1 404 536	23.7	1 396 808	23.5	-7 728
Pastizal	487 828	8.2	480 976	8.1	-6 852
Matorral	252 848	4.3	587 824	9.9	334 976
Bosque templado	1 811 232	30.5	474 400	8.0	-1 336 832
Bosque templado abierto	-	-	823 188	13.8	823 188
Selva baja	1 827 232	30.8	1 129 096	19.0	-698 136
Selva baja abierta	-	-	389 844	6.6	389 844
Suelo desnudo	5 724	0.1	29 784	0.5	24 060

Cuadro 2. Cambio de bosque y selva en Michoacán por tipo de relieve (%)

Clases	Relieve Plano	Relieve Transicional	Relieve Escarpado
Bosque templado	2.3	6.5	91.2
Selva baja	10.6	7.7	81.8

En valores absolutos, los municipios con mayor cambio de bosque corresponden a Coalcomán, Madero, Tiquicheo, Artega, Aquila, y Contepec (con pérdidas entre 20 000 y 45 000 ha). Por su parte, los municipios con mayor pérdida de selva son Turicato, Carácuaro, L. Cárdenas, Huetamo, La Huacana y Nocupétaro (entre 22 000 y 66 000 ha).

Para zonificar la deforestación municipal de manera más precisa se construyó un índice

compuesto que tomó en cuenta tanto la magnitud porcentual como absoluta de pérdida de cobertura forestal (véase la sección Métodos). Bajo este índice, los municipios más afectados por los procesos de deforestación del bosque resultan ser Contepec, Aquila, Madero, Tiquicheo y Coalcomán. Los municipios con mayor índice de pérdida de selva son Turicato, Carácuaro, Epitacio Huerta, Charo y Paracuaro; las Figuras 4 y 5 muestran gráficamente la zonificación por municipio.

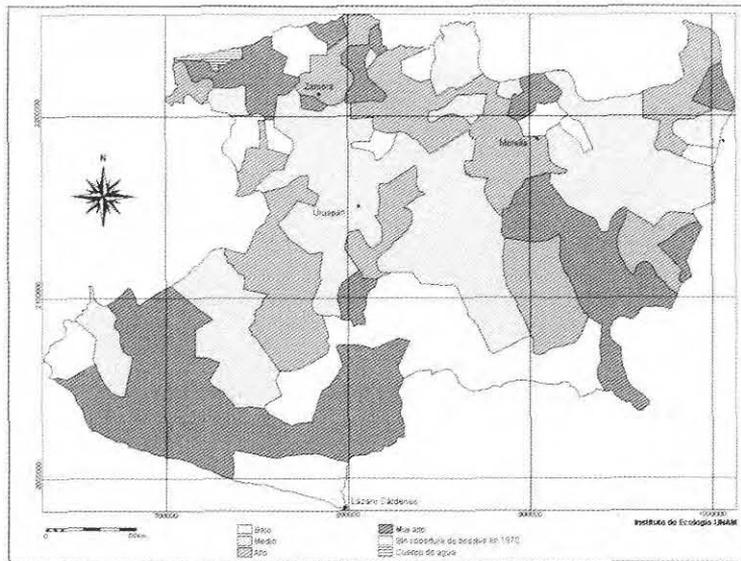


Figura 4. Índice de pérdida de bosque.

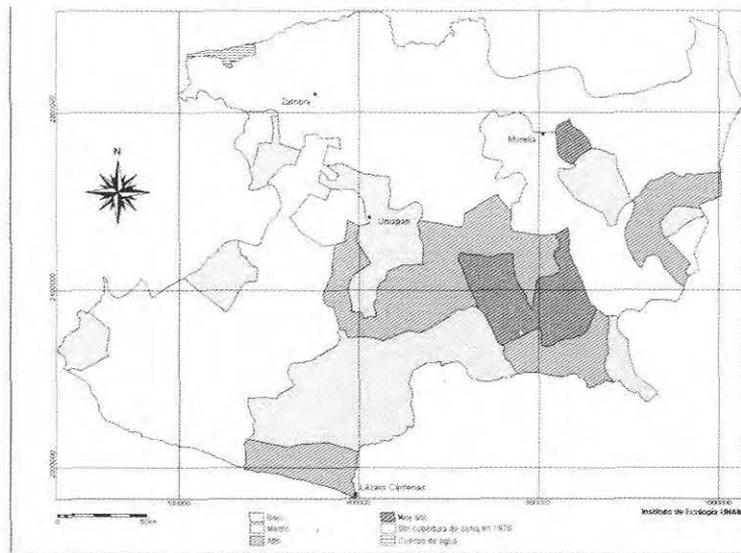


Figura 5. Índice de pérdida de selva.

### Matrices de transición del cambio de cobertura y uso del suelo

Con el fin de entender mejor la dinámica del conjunto de coberturas y usos del suelo se construyeron un par de matrices de transición y de probabilidades de transición (Cuadros 3 y 4), de cinco por siete elementos, en las cuales las clases de bosque templado y selva baja abiertos se conservan para los noventa. A tal efecto se reagruparon las clases originales como se muestra en el Cuadro 5.

Los resultados señalan que el bosque templado tiene un 36% de probabilidad de convertirse en bosque abierto y sólo un 23% de mantenerse como bosque templado. Por su parte, la selva tiene una probabilidad similar de cambio a otras coberturas vegetales, cultivos y selva baja abierta (13, 15 y 14%, respectivamente). La probabilidad de permanecer como selva baja es de 50% (Cuadro 4).

Prácticamente no existe recuperación de la superficie forestal, pues la probabilidad de que los cultivos u otras coberturas vegetales como matorrales y pastizales se conviertan en bosques es menor a 1% y en selvas de entre 3 y 6% en el período considerado. Las transiciones dominantes son hacia los bosques y selvas abiertas, cultivos y otras coberturas vegetales, como matorrales y pastizales (clases atractoras).

Este análisis refuerza la perspectiva de que a nivel estatal se está verificando un proceso rápido y severo de deforestación y degradación forestal, con muy poca recuperación de la superficie afectada.

### Causas del cambio de uso del suelo

Inicialmente se utilizaron las siguientes variables en el modelo explicativo: cambio en superficie con bosques, cambio en superficie con selvas, cambio en superficie forestal total, cambio en la población total, urbana y rural; cambio en la población indígena, bilingüe y monolingüe; cambio en las viviendas totales y con uso de leña, cambio en la PEA con primaria (véase matriz de correlación en el Cuadro 6).

Para correr el modelo de regresión múltiple, de estas variables iniciales se escogieron aquellas no-intercorrelacionadas. En el modelo final se incluyeron las variables asociadas a cambios en: población total, población rural, población indígena, viviendas que usan leña y PEA con primaria. Se realizaron regresiones independientes para el cambio en la cobertura forestal total, cambio en selvas y cambio en bosques.

Las variables de cambio en la cobertura forestal están definidas de tal forma que resultan negativas cuando existe un proceso de deforestación (es decir, cuando la superficie por municipio en 1993 era menor a la superficie en 1970).

Se esperaría que los coeficientes de la ecuación de regresión fueran entonces negativos —es decir, a valores positivos (aumentos) en los cambios de la población, viviendas que usan leña, población económicamente activa, etc.— se esperarían valores negativos (decrementos) en las coberturas forestales. Las correlaciones entre las variables sugieren de hecho una tendencia en este sentido.

Sin embargo, los modelos de regresión lineal (Cuadro 7) no arrojan resultados consistentes. Por una parte, los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) son sumamente bajos, correspondiendo a 0.04, 0.05 y 0.04, para los cambios total, y de bosques y selvas, respectivamente. Para el cambio en cobertura forestal total y de bosques ninguna variable resultó estadísticamente significativa para un nivel de confianza de 95%. De hecho, se registran coeficientes positivos para la mayor parte de las variables. En el caso de las selvas, los coeficientes son negativos, salvo para el crecimiento de la PEA primaria, que es precisamente la que resulta estadísticamente significativa. El análisis demuestra que los procesos de cambio de uso del suelo en Michoacán no pueden explicarse de manera simple por variables socioeconómicas y demográficas. En algunos casos incluso, los resultados pueden resultar contrarios a lo expresado, pues sugieren que el crecimiento demográfico y de PEA primaria, pueden llegar a asociarse con incrementos en la cobertura forestal, o alternativamente, que regiones con expulsión de fuerza de trabajo rural sean las que presentan las mayores pérdidas de cubierta forestal.

Cuadro 3. Matriz de transición de cobertura y uso de suelo (ha)

Cobertura 1990's								
Cobertura 1970's	Otras cob. no vegetales	Otras cob. vegetales	Cultivos	Bosque templado	Selva baja	Bosque abierto	Selva abierta	Total 1990's
Otras coberturas no vegetales	78 816	7 456	15 672	388	2 992	1 064	308	106 696
Otras coberturas vegetales	14 816	341 256	261 348	11 532	43 324	26 336	41 652	740 264
Cultivos	33 336	182 136	1 070 248	20 076	43 700	65 672	27 512	14 42 680
Bosque templado	9 444	286 420	259 340	421 764	116 304	662 200	55 232	1 810 704
Selva baja	14 496	247 836	289 956	20 516	920 660	67 740	263 324	1 824 528
Total 1990's	150 908	1 065 104	1 896 564	474 276	1 126 980	823 012	388 028	

Cuadro 4. Matriz de probabilidades de transición de la cobertura y uso de suelo

Cobertura 1990's								
Cobertura 1970's	Otras cob. no vegetales	Otras cob. vegetales	Cultivos	Bosque templado	Selva baja	Bosque abierto	Selva abierta	$\Sigma P_{ij}$
Otras coberturas no vegetales	0.739	0.070	0.147	0.004	0.028	0.010	0.003	1
Otras coberturas vegetales	0.020	0.461	0.353	0.016	0.059	0.036	0.056	1
Cultivos	0.023	0.126	0.742	0.014	0.030	0.046	0.019	1
Bosque templado	0.005	0.158	0.143	0.233	0.064	0.366	0.031	1
Selva baja	0.008	0.136	0.159	0.011	0.505	0.037	0.144	1

Cuadro 5. Reclasificación de las clases de cobertura y uso de suelo

Clases originales	Clases reagrupadas
Asentamientos humanos Cuerpos de agua Suelo desnudo	Otras coberturas no vegetales
Pastizal-matorral	Otras coberturas vegetales
Cultivos anuales Cultivos (semi) permanentes	Cultivos
Bosque templado	Bosque templado
Selva baja	Selva baja
Bosque abierto	Bosque abierto
Selva abierta	Selva abierta

Cuadro 6. Matriz de correlaciones entre cambios de cobertura forestal y cambios en variables socioeconómicas

STAT BASIC STATS	Correlations (desfmich.sta)											
	Marked correlations are significant at $p < .05000$ N=111(Casewise deletion of missing data)											
Variable	CAMBO S	CAMSE L	CAMTO T	CAMBPO B	CAMPOU R	CAMPOR U	CAMBI N	CAMBMO N	CAMBIL	CAMVI V	CAMLE N	CAMPEA PR
CAMBOS	1.00	0.08	0.54*	-0.08	-0.10	-0.18	-0.01	0.05	-0.02	-0.08	0.21*	0.12
CAMSEL	0.08	1.00	0.89*	-0.02	0.03	-0.06	0.12	0.07	0.12	-0.01	0.03	0.12
CAMTOT	0.54*	0.89*	1.00	-0.05	-0.02	-0.13	0.10	0.09	0.09	-0.05	0.12	0.16
CAMBPO B	-0.08	-0.02	-0.05	1.00	0.92*	0.46*	0.27*	0.20*	0.27*	1.00*	-0.59*	-0.10
CAMPOU R	-0.10	0.03	-0.02	0.92*	1.00	0.58*	0.33*	0.29*	0.32*	0.92*	-0.68*	-0.08
CAMPOR U	-0.18	-0.06	-0.13	0.46*	0.58*	1.00	0.12	0.09	0.13	0.45*	-0.86*	-0.11
CAMBIN	-0.01	0.12	0.10	0.27*	0.33*	0.12	1.00	0.83*	0.99*	0.25*	-0.31*	0.14
CAMBMO N	0.05	0.07	0.09	0.20*	0.29*	0.09	0.83*	1.00	0.77*	0.19*	-0.29*	0.21*
CAMBIL	-0.02	0.12	0.09	0.27*	0.32*	0.13	0.99*	0.77*	1.00	0.25*	-0.31*	0.12
CAMVIV	-0.08	-0.01	-0.05	1.00*	0.92*	0.45*	0.25*	0.19*	0.25*	1.00	-0.59*	-0.12
CAMLEN	0.21*	0.03	0.12	-0.59*	-0.68*	-0.86*	-0.31*	-0.29*	-0.31*	-0.59*	1.00	0.13
CAMPEA PR	0.12	0.12	0.16	-0.10	-0.08	-0.11	0.14	0.21*	0.12	-0.12	0.13	1.00

Cuadro 7. Modelos de regresión lineal entre cambios de cobertura forestal y variables socioeconómicas

## Modelo de regresión para cambio en la cobertura forestal total (CAMTOT)

<i>stat multiple regression</i>		Regression Summary for Dependent Variable: CAMTOT r= 0.21921800 r <sup>2</sup> = 0.04805653 Adjusted r <sup>2</sup> = 0.00272589 F(5,105)=1.0601 p<.38679 Std.Error of estimate: 17034				
N = 111	BETA	Std. Error of BETA	B	Std. Error of B	T (106)	P - level
Intercept			-9445.68	1822.932	-5.18159	0.000001
CAMBPOB	0.009619	0.119436	0.01	0.067	008054	0.935962
CAMPORU	-0066700	0.194253	-010	0.281	-034337	0.732009
CAMBIN	0.110808	0.107056	0.75	0.721	1.03504	0.303026
CAMLEN	0.084781	0.219265	0.71	01.824	038666	0.699789
CAMPEAPR	0.122011	0.098173	2.63	2.114	1.24282	0.216703

## Modelo de regresión para cambio en la cobertura de bosques (CAMBOS)

<i>stat multiple regression</i>		Regression Summary for Dependent Variable: CAMBOS r= 0.23006088 r <sup>2</sup> = 0.05292801 Adjusted r <sup>2</sup> = 0.00509609 F(5,99)=1.1065 p<.36187 Std.Error of estimate: 8076.7				
N = 105	BETA	Std. Error of BETA	B	Std. Error of B	T (99)	P - level
intercept			-3414.23	900.1872	-3.79280	0.000256
CAMBPOB	0.062954	0.123372	0.02	0.0321	0.51028	0.610991
CAMPORU	0.024226	0.197455	0.02	0.1345	0.12269	0.902600
CAMBIN	0.053348	0.110204	0.17	0.3463	0.48408	0.629398
CAMLEN	0.268091	0.223555	1.05	0.8761	1.19922	0.233305
CAMPEAPR	0.073495	0.101221	0.74	1.0215	0.72609	0.469498

## Modelo de regresión para cambio en la cobertura de selvas (CAMSEL)

<i>stat multiple regression</i>		Regression Summary for Dependent Variable: CAMSEL r= 0.40482863 r <sup>2</sup> = 0.16388622 Adjusted r <sup>2</sup> = 0.04092831 F(5,34)=1.3329 p<.27401 Std.Error of estimate: 19310.				
N = 40	BETA	Std. Error of BETA	B	Std. Error of B	T (99)	P - level
intercept			-19900.6	3572.553	-5.57043	0.000003
CAMBPOB	0.271043	0.238945	0.1	0.097	1.13433	0.264590
CAMPORU	-0.319109	0.378980	-0.6	0.697	-0.84202	0.405659
CAMBIN	-0.298667	0.238193	-2.0	1.600	-1.25389	0.218437
CAMLEN	-0.387433	0.432109	-3.2	3.554	-0.89661	0.376232
CAMPEAPR	0.452655	0.198549	9.6	4.225	2.27982	0.029012

## CONCLUSIONES

El análisis presentado permite el estudio integral del proceso de cambio de cobertura y uso del suelo a nivel regional. Específicamente hemos propuesto un enfoque metodológico que considera: a) la detección e interpretación coherente del cambio basado en un análisis cartográfico con ayuda de sistemas de información geográfica, que incluyó la determinación de un sistema clasificatorio adecuado a la escala de análisis y una estimación del error; b) el análisis de los procesos de cambio (específicamente desforestación) incluyendo la consideración del paisaje como mosaico dinámico de coberturas y usos del suelo; c) la zonificación municipal de estos cambios en grados o niveles de desforestación y d) una primera interpretación de la posible relación de la desforestación con variables socioeconómicas y demográficas.

Específicamente, el análisis revela que en un lapso de 18 años el estado de Michoacán perdió 513 644 ha de bosques templados y 308 292 ha de selvas, correspondientes a tasas de deforestación de 1.8 y 1% anual, respectivamente. La tasa de pérdida de bosques es el doble que la estimada a nivel nacional para este tipo de vegetación. Adicionalmente, 20% de la superficie con bosques y selvas sufrió un proceso de degradación. Estos cambios indican que el estado de Michoacán atraviesa por una etapa sin precedentes en la degradación de su recurso forestal, que sin duda repercute en una degradación ambiental intensa.

Los municipios con porcentaje de cambio de bosque mayor a 60% son Ziracuaretiro, en las cercanías de Uruapan, y Contepec, en el límite noreste del estado (zona Monarca). El municipio de Turicato, en el centro del estado y en la zona caliente, presenta cambios en la cobertura de selva superior a 60%. En el período estudiado 16 municipios perdieron totalmente su superficie forestal.

Los cambios de cobertura de bosque y selva se presentan principalmente en zonas escarpadas, es decir, en los lomeríos y sierras del estado. Los valores de este cambio son 91% para bosques y 82% para selvas. Las zonas bajas (planicies

y valles) sufren procesos de cambio de cobertura forestal no detectables a la escala estatal. Esto indica que los principales patrones de degradación y tala forestal se producen en ambientes no aptos para usos, la mayor parte usos productivos y de asentamientos, y que seguramente están desencadenando procesos intensos de degradación de laderas y cauces. En otras palabras, se están perdiendo los recursos forestales sin ninguna retribución para la sociedad michoacana.

Los bosques han perdido superficie a costa del incremento del área ocupada por bosques abiertos y otras coberturas vegetales. La probabilidad de cambio de bosque a bosque abierto es de 37%, y de cambio a otras coberturas vegetales es de 16%. La tendencia del cambio indica que los bosques tienen una alta probabilidad (53%) de dejar de serlo. Las selvas bajas tienden a permanecer en un 50% de los casos como selva, y presentan un 15% de probabilidad de cambiar a selva baja abierta, y un 35% a otras coberturas.

Se requiere de estudios más finos, por regiones y por municipios, para poder entender mejor toda la problemática. En síntesis, los procesos de cambio de cobertura son sensibles a la escala, tanto en su medición, como en su explicación. Los datos indican que, a la escala estatal, las hipótesis que sugieren cambios debidos a la presión demográfica, no operan. Los cambios más importantes tanto para bosques como para selvas ocurren en zonas relativamente remotas, con baja presión demográfica, y no están generando actividades productivas alternas para la población del estado. Aparentemente, los procesos de pérdida y deterioro de bosques y selvas ocurren más por un descontrol en la actividad forestal, que como resultado de una política explícita de desarrollo económico no sustentable.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo se elaboró con material generado en el proyecto Análisis del Cambio del Uso del Suelo en Michoacán, auspiciado por el Programa SIMORELOS (CONACyT). Agradecemos al Instituto de Geografía de la UNAM la cesión de los datos de cobertura y uso de suelo

de los años setenta (INEGI) para Michoacán en formato digital.

## REFERENCIAS

- Allen, J. y D. F. Barnes (1985), "The causes of deforestation in developing countries", *Annals of the Association of American Geographers*, 75 (2):163 - 184.
- Anderson, J. R., E. E. Hardy, J. T. Roach y R. E. Wittmer (1976), *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*, Geological survey professional paper 964, Washington.
- Bocco, G. y H. Riemann (1997), "Quality assessment of polygon labelling", *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, 63 (4):393 - 395.
- Bocco, G. (1998), "Naturaleza y sociedad. Escalas de espacio y tiempo", *Ciencias*, núm. 51, pp. 54-59.
- Bocco, G., M. Mendoza, A. Velázquez y M. A. Torres (1998), "Forest cover change in Mexico", *Journal of Soil and Water Conservation*, 52(2):164.
- Bocco, G y M. Mendoza (1999), *Evaluación de los cambios de la cobertura vegetal y uso del suelo en Michoacán (1975 - 1995). Lineamientos para la ordenación ecológica de su territorio. Proyecto No. 96 06 042, Programa SIMORELOS-CONACYT, Informe Técnico, Departamento de Ecología de los Recursos Naturales, Instituto de Ecología, UNAM, Campus Morelia.*
- Bocco G., M. Mendoza, A. Velázquez y A. Torres (1999), "La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo", *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 40, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-22.
- Dirzo R. y M. C. García (1991), "Rates of deforestation in Los Tuxtlas a Neotropical Area in southeast Mexico", *Conservation Biology* 6, pp. 84-90.
- FAO (1995), *Forest resources assesment 1990*, FAO forestry paper 124, Roma.
- Houghton, R. A. (1994), "The worldwide extent of land-use change", *BioScience*, 44, 5:305-306.
- ILWIS (1990), *Integrated Land and Water Information System, version 1.4.1 User's Manual*, International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.
- ILWIS (1997), *Integrated Land and Water Information System, version 2.1. User's Manual*, International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.
- INEGI (1970), *Censo General de Población y Vivienda*, México.
- INEGI (1990), *Censo General de Población y Vivienda*, México.
- Kamaljit, S. B. y S. Dayananchan (1997), "Socioeconomic factors and tropical deforestation", *Nature*, (386):662-663.
- 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 processes in tropical regions", *Progress in Physical Geography*, 21, 3:375 - 393.
- Lee, H., J. L. Carr y A. Lanckerani (1995), "Human disturbance and natural habitat: a biome level analysis of a global data set", *Biodiversity and Conservation*, 4:128-155.
- Mas, J. F., V. Sorani y R. Álvarez (1996), "Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación", en Álvarez, R. (ed.), *Percepción Remota, Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. esp. 5, Instituto de Geografía, UNAM, pp. 43- 57.
- Masera, O. R. (1996) *Deforestación y degradación forestal en México*, Documentos de Trabajo No. 19, GIRA A. C. Pátzcuaro, México (enero).
- Masera, O. R., M. J. Ordóñez y R. Dirzo (1997), "Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios", *Climatic Change*, pp. 265-295.
- Mendoza, E. (1997), *Análisis de la deforestación en la Selva Lacandona: patrones, magnitud y consecuencias*, tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Poder Ejecutivo Federal (1999), *Programa Nacional de Acción Climática*, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP; documento para consulta pública).

- 📖 Rosete, F. A., 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.
- 📖 Rzedowski, J. (1978), *La vegetación de México*, Limusa, México.
- 📖 SARH (1991), *Programa Nacional de Reforestación, Capítulo VI*, Subdirección de Fauna Silvestre y Áreas Protegidas, SARH, México.
- 📖 SARH (1994), *Inventario Nacional Forestal Periódico, Memoria Nacional*, publicaciones de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, SARH, México.
- 📖 SEMARNAP (1996), *Programa Forestal y de Suelo 1995 – 2000*, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Poder Ejecutivo Federal.
- 📖 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*, resultados preliminares.
- 📖 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", en Álvarez, R. (ed.), *Percepción Remota, Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. esp. 5, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 11-18.
- 📖 Toledo, V. M. y M. J. Ordóñez (1993), "The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats", in Ramamoorthy T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.), *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*, Oxford University Press, New York.

## Apéndice 1.

### Clases de mapeo para cobertura forestal

*Bosque.* Vegetación arbórea de regiones templadas y semifrías con diferentes grados de humedad, por lo común con poca variación de especies y frecuentemente con pocos bejucos o sin ellos.

*Bosque abierto.* Es el caso de la clase anterior, pero con una cobertura menor del 50%, estimada por respuesta espectral sobre la imagen. En este caso, el bosque remanente ya no cumple la función ecológica original.

*Selva.* Comunidades formadas por vegetación arbórea; generalmente se encuentra en climas cálido-húmedos y subhúmedos, está compuesta por la mezcla de un gran número de especies, muchas de las cuales presentan bejucos, lianas y plantas epífitas, frecuentemente los árboles espinosos son dominantes.

*Selva abierta.* Es el caso de la clase anterior, pero con una cobertura estimada sobre la imagen menor del 50%. En este caso, la selva remanente ya no cumple la función ecológica original.

Específicamente se tomaron en cuenta las siguientes precisiones. La clase **bosque** (coníferas y encino) incluye los siguientes tipos de vegetación:

*Bosque de Abies.* Se presenta en cumbres cuya altitud oscila entre 2 500-2 800 msnm, a lo largo de cañadas con clima templado húmedo, heladas frecuentes y suelo rico en nutrientes. Destacan los abetos, oyameles o pinabetes (*Abies religiosa*). Estos árboles alcanzan de 20 a 40 metros de alto, tienen una forma cónica y follaje verde oscuro. Forman una densa masa forestal en cuyo interior se manifiesta la penumbra que alberga una gran cantidad de hierbas anuales.

*Bosque de pinos.* Típico de lugares montañosos, algunas veces rodeado de Bosques de *Abies*,

otras mezclado con ellos; forma grandes masas forestales. Los bosques de pinos dominan el paisaje de grandes regiones del estado. Son comunes entre los 2 000-3 500 msnm, donde el clima es templado lluvioso en verano.

*Bosque de pino-encino.* En la zona de transición de los Bosques de pino a los Bosques de encino, se presenta una mezcla de ambos tipos que da la formación de un Bosque mixto de pino-encino. Se encuentra comúnmente en las faldas de los cerros en altitudes que varían de 1 000 a 2 600 msnm, en regiones de clima templado lluvioso en verano, así como en la zona de transición de los climas templados a los cálidos.

*Bosque de encino.* Es común en las faldas de los cerros en altitudes que varían de 900 a 2 500 msnm, marcan el límite inferior de los Bosques de pino, forman masas forestales puras en sitios donde el clima es menos húmedo y más caliente.

La clase **selva** (caducifolia) incluye los siguientes tipos de vegetación:

*Bosque tropical caducifolio.* Bosque tropical característico de las laderas de los cerros de "Tierra Caliente", se desarrolla del nivel del mar hasta los 1 000 msnm, en suelos someros de color castaño, textura arenosa y muy pedregosos. Son propios de climas cálidos subhúmedos y secos esteparios donde la temperatura media mensual suele ser superior a los 26° C; la cantidad anual de lluvia varía de 500 a 1 000 milímetros y se reparte en un período corto (junio-septiembre), seguido de una larga y fuerte temporada de sequía. El bosque forma una comunidad de árboles que varían de 8 a 12 m de altura con hojas caedizas en la época de sequía.

*Bosque Tropical Subcaducifolio.* Es un bosque tropical lluvioso, se localiza en pequeños parajes a lo largo del litoral, principalmente en las

cañadas húmedas en donde las temperaturas alcanzan 20° C y las lluvias sobrepasan los mil milímetros cúbicos; el suelo es profundo y puede contener arcilla o arena. Este bosque forma una masa vegetal muy densa con árboles de 20 a 30 m de altura, lo que provoca una penumbra en el interior del mismo.

*Bosque espinoso.* Predominan árboles pequeños y espinosos, se establece en los valles de "Tierra Caliente" sobre suelos aluviales profundos, de color claro, textura arenosa y relieves planos. En sitios cuya altitud varía desde cerca del nivel del mar hasta 300 msnm.

El clima puede ser tropical o seco estepario con lluvias en verano que no sobrepasan los mil milímetros anuales. Se distribuye hacia la zona suroeste del estado en las planicies costeras y en Tepalcatepec.

En Michoacán existen además los siguientes tipos de vegetación (no cartografiables a escala 1:250 000): bosque mesófilo de montaña, bosque de galería, manglar, tular, carrizal, vegetación de dunas costeras, palmar y la vegetación flotante de cuerpos hídricos.

## Apéndice 2.

## Pérdida de bosques y selvas por municipios

Municipio	Bosque en 1975 (ha)	Bosque en 1993 (ha)	Tasa de deforestación de bosque	Municipio	Selva en 1975 (ha)	Selva en 1993 (ha)	Tasa de deforestación de selva
Tlazazalca	2 636	104	16.4	Huaniqueo	6 836	4 164	2.7
Contepec	22 372	1 648	13.5	Morelia	43 140	26 880	2.6
Churintzio	4 304	364	12.8	Santiago de Tangamandapio	4 016	2 560	2.5
Ecuandureo	960	132	10.4	Zináparo	1 372	896	2.3
Panindícuaro	1 764	308	9.2	Huiramba	3 928	2 620	2.2
Irimbo	1 704	336	8.6	Tlapujahua	9 688	6 472	2.2
La Piedad	1 308	260	8.6	Arteaga	105 572	72 500	2.1
Buenavista	3 116	628	8.5	Santa Ana Maya	12 532	8 660	2.0
Zamora	4 732	1 016	8.2	Chinicuila	20 936	14 800	1.9
Villa Jiménez	7 748	1 944	7.4	Nahuatzen	21 052	15 524	1.7
Susupuato de Guerrero	16 288	4 356	7.1	Pátzcuaro	11 064	8 200	1.7
Tingambato	10 484	2 816	7.0	Senguio	11 628	8 664	1.6
Marcos Castellanos	4 268	1 156	7.0	Tangancicuaro	16 716	12 744	1.5
Penjamillo	2 380	656	6.9	Tancítaro	35 232	26 956	1.5
Aquila	40 084	11 216	6.8	Tuxpan	12 228	9 608	1.3
Gabriel Zamora	8 552	2 532	6.5	Coalcoma	217 272	173 904	1.2
Ziracuaretiro	13 948	4 272	6.4	Ario	34 040	27 312	1.2
Maravatio	15 512	4 756	6.4	Zitácuaro	16 616	13 336	1.2
Carácuaro	5 132	1 580	6.3	Tacámbaro	39 384	32 072	1.1
Taretan	13 356	4 128	6.3	Paracho	16 544	13 496	1.1
Morelos	5 760	1 884	6.0	Tzintzuntzan	4 284	3 496	1.1
Juárez	7 208	2 504	5.7	Parácuaro	7 604	6 228	1.1
Tocumbo	19 896	6 968	5.7	Charapan	12 620	10 580	1.0
Epitacio Huerta	18 452	6 480	5.6*	Los Reyes	25 160	21 104	1.0
Copándaro	140	0	5.6*	Zitácuaro	776	32	16.2
Venustiano Carranza	160	0	5.6*	Ario	1 200	92	13.3
Pajacuarán	180	0	5.6*	Turicato	73 564	8 128	11.5
Sahuayo	236	0	5.6*	Tacámbaro	5 600	1 080	8.7
Numarán	464	0	5.6*	Parácuaro	16 600	3 552	8.2
Villamar	592	0	5.6*	Epitacio Huerta	916	0	5.6*
S.E.Coju	692	0	5.6*	Jungapeo	17 872	7 280	4.9
Cuitzeo	792	0	5.6*	Carácuaro	99 332	46 328	4.1
Jacona de Plancarte	1 100	0	5.6*	Nocupétaro	42 808	20 332	4.1
San Lucas	4 968	0	5.6*	Gabriel Zamora	9 424	5 536	2.9
Lagunillas	5 264	2 040	5.1	Huetamo	90 144	54 380	2.8
Tuzantla	10 164	3 952	5.1	Lázaro Cárdenas	97 604	60 468	2.6
Purépero	5 520	2 212	5.0	Mujica	13 392	8 324	2.6
Coeneo	11 952	4 804	4.9	San Lucas	28 692	19 820	2.0
Nocupétaro	16 488	7 320	4.4	Tuzantla	46 652	32 288	2.0
Tiquicheo	61 140	27 888	4.3	Tumbiscatio	46 252	32 916	1.9
Chucandiro	1 876	860	4.2	Taretan	5 684	4 072	1.8
Aporo	3 356	1 704	3.7	Uruapan	536	400	1.6
Madero	82 460	43 360	3.5	La Huacana	124 064	93 324	1.6
Apatzingán	43 352	23 204	3.4	Juárez	6 924	5 384	1.4
Huandacareo	1 052	608	3.0	Coahuayana	39 092	31 740	1.2
Jiquilpa	3 616	2 124	2.9	Churumuco	86 060	70 460	1.1
Acuitzio del Canje	11 812	7 064	2.8	Nuevo Urecho	11 368	9 472	1.0
Zacapu	16 372	9 808	2.8	Huaniqueo	6 836	4 164	2.7
Puruándiro	2 468	1 484	2.8	Morelia	43 140	26 880	2.6
Peribán	12 988	7 868	2.7				

\* Estos municipios perdieron la totalidad de su cobertura forestal en el periodo indicado. En este caso la tasa anual de deforestación se estimó con un modelo lineal donde  $r=(N-No)/18$ .