



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
METROPOLITANA**

---

---

**DINÁMICA DEL PAISAJE Y FACTORES  
CAUSALES DE CAMBIO EN LA ZONA  
CÁLIDA DE LA REGIÓN DE LA  
MONTAÑA DE GUERRERO.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de  
**MAESTRA EN BIOLOGÍA**

**PRESENTA**

**Biól. Alma Delia Toledo Guzmán**

Directora: Dra. Claudia Ballesteros Barrera

MÉXICO, D. F.

ABRIL 2014

La Maestría en Biología de la  
Universidad Autónoma Metropolitana  
Pertenece al Padrón de  
Postgrados de Calidad del CONACyT

*Ustedes me dicen, entonces, que tengo que perecer  
como también las flores que cultivé perecerán.*

*¿De mi nombre nada quedará?*

*¿nadie me recordará?*

*Pero los jardines que planté, son jóvenes y crecerán...*

*Las canciones que canté, ¡cantándose seguirán!*

**HUEXOTZINCATZIN**

*Príncipe de Texcoco, 1484*

El Jurado designado por la  
División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Biól. Alma Delia Toledo Guzmán

El día 9 de abril del año 2014

*Comité Tutorial y Jurado*

Tutor: Dra. Claudia Ballesteros Barrera

Asesor: Dr. Franz Mora

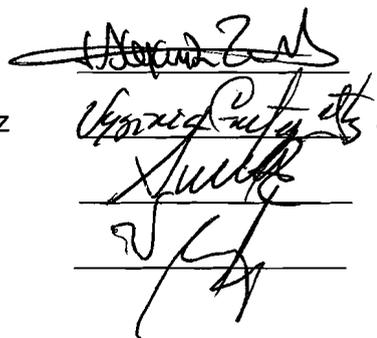
Asesor: M. en C. Iván Ernesto Roldán Aragón

Presidente: Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

Secretario: Dra. María Virginia Cervantes Gutiérrez

Vocal: M. en C. Iván Ernesto Roldán Aragón

Vocal: M. en C. Vicente Arriaga Martínez



Four handwritten signatures are present, each written over a horizontal line. From top to bottom, they correspond to the President, Secretary, and two vocal members of the jury.

*A mis padres María y Antonio,*

*a mi hermana Mariel.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mi profesor, jefe y amigo Gilberto Hernández Cárdenas, sin su apoyo esta tesis no habría sido posible, agradezco el brindarme la oportunidad de conocer y trabajar en la región de La Montaña, por darme un espacio en su laboratorio, compartir conmigo una pequeña parte de sus amplios conocimientos, por sus ideas, revisiones, apoyo económico y tiempo dedicado al desarrollo de esta tesis, por brindarme la oportunidad de trabajar en otros proyectos, otras regiones y otros ecosistemas, por su consejos, confianza y apoyo, pero sobre todo por brindarme su amistad.

A mi Directora de tesis, la Dra. Claudia Ballesteros Barrera, por su alegría aún en los momentos más difíciles, por su apoyo académico y emocional, por ser un ejemplo a seguir, por sus consejos, por aceptar el reto de dirigir esta tesis y especialmente por su amistad.

A mi asesor Iván Roldán, quien siempre tuvo tiempo para revisar mi tesis, por su apoyo desde la realización del servicio social, por enseñarme mis primeros pasos en los sistemas de información geográfica. Su dedicación y tiempo invertido es algo invaluable.

A mi asesor Franz Mora cuyos aportes a esta tesis fueron determinantes, gracias por sus ideas y por la facilitación de sus algoritmos, sus sugerencias y observaciones fueron muy importantes.

A mis sinodales el Dr. Ale Zavala con toda mi admiración y cariño, gracias por ser siempre tan accesible y estar dispuesto a ayudar. Al M. C. Vicente Arriaga por sus atenciones y disponibilidad y a la Dra. Virginia Cervantes por sacar a flote este barco, por su ayuda y dedicación en la revisión del documento, gracias por sus sugerencias y aportes.

A mi gran amiga Perita, quien con su alegría y muestras de cariño hace de este mundo un lugar mejor!!!

A Monse por su ayuda, por escucharme en los momentos más difíciles, su apoyo y alegría.

A Luis Alberto, por su amistad y sus muestras de cariño, por escucharme y aguantarme, por ser buen y mal ejemplo para mí.

A Sandra Miguel por su amistad y por sus pláticas.

A Osiris Aguilar, porque cuando está de buenas es muy chida.

A mis compañeros del Laboratorio de Manejo de Recursos Naturales: Sandra, Osiris, Iliana, Fernanda, Lorena, Anahí, Paola, y principalmente a Yasser, quien siempre tuvo una respuesta a mis preguntas, y en todo momento mostró un gran compañerismo.

A Laurita Almaraz, Aileth, Chucho, Mario y Evelyn porque siempre tuvieron una sonrisa para mí.

A la miss Maricarmen por su alegría y muestras de apoyo.

A Elo, Zuri y Carmen, queridas amigas del posgrado.

Al Dr. Manuel Castillo por su apoyo académico, su asesoría en estadística, por estar siempre dispuesto a ayudarme.

Al Dr. Abraham Kobelkowsky quien me brindó su apoyo para ingresar a la maestría.

A mi hermana Mariel, cuya inteligencia y perseverancia me animan a seguir adelante.

Finalmente quiero agradecer a mis padres, por ser tan tolerantes y comprensivos con el difícil camino profesional que escogí.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
1.1 La perspectiva del paisaje.....	6
1.2 Cambios en la cobertura forestal.....	7
1.3 Fragmentación de coberturas forestales.....	9
1.4 Factores causales de los cambios en la cobertura forestal.....	10
1.5 Selva baja caducifolia.....	15
1.6 La región de La Montaña de Guerrero: Un caso de estudio.....	17
<b>2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	19
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	21
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	22
4.1 Objetivo General.....	22
4.2 Objetivos Particulares.....	22
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	23
5.1 Zona de estudio.....	23
5.2 Imágenes de satélite utilizadas.....	24
5.3 Correcciones radiométricas.....	25
5.3.1 Corrección atmosférica absoluta.....	25

5.3.2 Normalización topográfica.....	26
5.4 Clasificación de la cobertura terrestre de la región de La Montaña de Guerrero.....	29
5.4.1 Registros de presencia.....	31
5.4.2 Clasificación con el algoritmo de Máxima Entropía.....	32
5.4.3 Clasificación de la vegetación en regeneración.....	33
5.4.3.1 Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI.....	33
5.4.3.2 Compuesto RGB.....	35
5.5 Digitalización de capas de información.....	37
5.6 Validación de la clasificación 2011.....	39
5.6.1 Índice de kappa.....	40
5.6.2 Fiabilidad.....	41
5.7 Tasas de cambio.....	41
5.8 Fragmentación de la selva baja caducifolia.....	42
5.9 Análisis de los factores causales de cambio.....	44
5.9.1 Obtención de los datos.....	44
5.9.2 Regresión lineal simple.....	46
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
6.1 Clasificación de la cobertura terrestre de la región de La Montaña de Guerrero.....	48
6.1.1 Mapa de cobertura terrestre de 1993.....	51
6.1.2 Mapa de cobertura terrestre de 2001.....	53
6.1.3 Mapa de cobertura terrestre de 2011.....	55
6.2 Dinámica del paisaje de la región de La Montaña de Guerrero.....	57
6.2.1 Cambios netos.....	61
6.2.1 Transiciones entre las categorías .....	63
6.2.1.1 Transiciones entre las categorías de 1993 a 2001.....	63

6.2.1.2 Transiciones entre las categorías de 2001 a 2011.....	65
6.3 Validación de la clasificación.....	67
6.4 Dinámica de la selva baja caducifolia.....	67
6.4.1 Modelo de procesos de cambio de la selva baja caducifolia de 1993 a 2001.....	69
6.4.2 Modelo de procesos de cambio de la selva baja caducifolia de 2001 a 2011.....	70
6.5 Patrones de fragmentación de la selva baja caducifolia.....	72
6.5.1 Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia de 1993 a 2001.....	75
6.5.2 Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia de 2001 a 2011.....	76
6.6 Cambios en la categoría de selva interior.....	77
6.6.1 Cambios en la categoría de selva interior de 1993 a 2001.....	78
6.6.2 Cambios en la categoría de selva interior de 2001 a 2011.....	79
6.7 Análisis de los factores causales de cambio en la región de la Montaña.....	81
6.7.1 Factores causales de la expansión de la agricultura y los pastizales.....	83
6.7.2 Factores causales de cambios de la selva baja caducifolia.....	83
6.7.2.1 Factores causales de pérdida de la selva baja caducifolia.....	83
6.7.2.2 Factores causales de la regeneración de la selva baja caducifolia.....	84
6.7.3 Factores causales de la fragmentación de la selva baja caducifolia.....	84
<b>7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>85</b>
7.1 Dinámica del paisaje de la región de La Montaña de Guerrero.....	85

7.2 Cambios y Fragmentación de la selva baja caducifolia.....	87
7.3 Factores causales de cambio.....	89
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>94</b>
<b>9. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Zona de estudio.....	23
<b>Figura 2.</b> Procedimiento para realizar la corrección atmosférica.....	26
<b>Figura 3.</b> Procedimiento para realizar la normalización topográfica.....	29
<b>Figura 4.</b> Procedimiento para realizar la clasificación de la cobertura terrestre de la región de La Montaña.....	30
<b>Figura 5.</b> Procedimiento para identificar las categorías de vegetación en regeneración.....	37
<b>Figura 6.</b> Aplicación del análisis espacial para el cálculo de la cantidad y continuidad de selva.....	42
<b>Figura 7.</b> Modelo utilizado para identificar las categorías de fragmentación.....	44
<b>Figura 8.</b> Mapa de cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero en 1993.....	51
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de la superficie de la cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero en 1993 .....	52
<b>Figura 10.</b> Mapa de cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero en 2001.....	53
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de la superficie de la cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero en 2001. ....	54

<b>Figura 12.</b> Mapa de cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero en 2011.....	55
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de la superficie de la cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero en 2011.....	56
<b>Figura 14.</b> Cambios en la cobertura forestal, regeneración de la cobertura Forestal y actividades antrópicas de 1993, 2001 y 2011.....	60
<b>Figura 15.</b> Mapa de cambios en la cobertura forestal de la región de La Montaña de Guerrero.....	61
<b>Figura 16.</b> Mapa de cambios en la selva baja caducifolia de La Montaña de Guerrero.....	68
<b>Figura 17.</b> Porcentajes de lo cambio y permanencia de la selva baja caducifolia con respecto a lo que no es selva.....	69
<b>Figura 18.</b> Modelo de procesos de cambio de la selva baja caducifolia de 1993 a 2001.....	70
<b>Figura 19.</b> Modelo de procesos de cambio de la selva baja caducifolia de 2001 a 2011.....	71
<b>Figura 20.</b> Patrones espaciales y superficies de fragmentación de la selva baja caducifolia en 1993.....	72
<b>Figura 21.</b> Patrones espaciales y superficies de fragmentación de la selva baja caducifolia en 2001.....	73

<b>Figura 22.</b> Patrones espaciales y superficies de fragmentación de la selva baja caducifolia en 2011.....	74
<b>Figura 23.</b> Porcentajes de cambio en las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia en 1993, 2001 y 2011.....	75
<b>Figura 24.</b> Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia de 1993 a 2001 .....	76
<b>Figura 25.</b> Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia de 2001 a 2011.....	77
<b>Figura 26.</b> Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia entre 1993 y 2001 .....	78
<b>Figura 27.</b> Mapa de cambios en la categoría de selva interior de 1993 a 2001 .....	79
<b>Figura 28.</b> Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia entre 2001 a 2011.....	80
<b>Figura 29.</b> Mapa de cambios en la categoría de selva interior de 2001 a 2011 .....	81

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Resumen de imágenes que se usaron en el análisis espacial.....	24
<b>Cuadro 2.</b> Categorías obtenidas a partir del RGB por proceso y fecha.....	36
<b>Cuadro 3.</b> Imágenes utilizadas como base para digitalizar las localidades .....	38
<b>Cuadro 4.</b> Descripción de las variables utilizadas a nivel municipal.....	45
<b>Cuadro 5.</b> Categorías de cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero.....	50
<b>Cuadro 6.</b> Cambios en las categorías de cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero.....	58
<b>Cuadro 7.</b> Cambios netos de las categorías de vegetación y la agricultura y los pastizales de 1993 a 2001.....	62
<b>Cuadro 8.</b> Cambios netos de las categorías de vegetación y la agricultura y los pastizales de 2001 a 2011.....	62
<b>Cuadro 9.</b> Matriz de transición entre de las categorías de 1993 a 2001.....	64
<b>Cuadro 10.</b> Matriz de transición entre de las categorías de 2001 a 2011.....	66

<b>Cuadro 11.</b> Resultados de los modelos de regresión lineal para 2000 y 2010.....	82
--	----

## RESUMEN

La dinámica de un paisaje es resultado de las interacciones entre factores biofísicos y socioeconómicos. En la actualidad se reconoce que las actividades humanas se han convertido en la principal causa de los cambios del paisaje, modificando su estructura y funcionamiento. El objetivo de este estudio fue analizar la dinámica del paisaje de la zona cálida de la región de La Montaña de Guerrero durante un periodo de 18 años, y relacionar esta dinámica con diversos factores socioeconómicos.

Se utilizaron escenas Landsat 5 TM de la época de secas para los años de 1993, 2001 y 2011, las cuales se clasificaron mediante la aplicación de técnicas de percepción remota y el uso del algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt). Se realizó el análisis de fragmentación de la selva baja caducifolia con el método de Riitters. El análisis de los factores causales de cambios se hizo con modelos de regresión lineal simple.

Se generaron tres mapas de coberturas terrestres donde se identificaron 14 categorías; selva baja caducifolia, bosques templados, bosques de encino, vegetación de transición, agricultura y pastizales, agricultura de tlacolol, agricultura de riego o humedad, áreas en descanso de agricultura de riego o humedad, áreas quemadas, selva baja caducifolia en regeneración, bosques templados en regeneración, bosques de encino en regeneración, localidades, y áreas desprovistas de vegetación.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que se está dando un reacomodo de los elementos que conforman el paisaje de la zona, en el cual existen pérdidas de vegetación con una edad mayor a veinte años, pero también regeneración. El análisis de transición entre categorías permitió observar que la pérdida de la vegetación está dada principalmente por el incremento de la

agricultura y los pastizales, en cambio la regeneración de vegetación proviene del descanso o abandono de las mismas tierras de producción.

Los resultados sugieren que el grado de accesibilidad a las zonas es uno de los factores que más influyen en la toma de decisiones de los pobladores sobre transformar o conservar un área forestal, por lo que se propone que se haga un análisis más profundo al respecto.

A partir de los resultados obtenidos surgen nuevas preguntas de investigación: (i) ¿se está dando un abandono de las tierras agrícolas o son tierras que están en descanso? (ii) las variables que mostraron una alta correlación con la extensión de la superficie agrícola como son las variables de educación y marginación, ¿serán factores causales de la pérdida de la cobertura forestal?, (iii) ¿las áreas de fragmentación transicional serán las más adecuadas para realizar acciones de restauración?

Palabras clave: Dinámica del paisaje, percepción remota, MaxEnt, fragmentación, selva baja caducifolia, factores causales de cambio.

## **ABSTRACT**

The dynamics of a landscape is the result of the interactions between biophysical and socio-economic factors. Currently, it is recognized that human activities have become the main cause of changes in the landscape, modifying its structure and functioning. The objective of this study was to analyze the dynamics of the landscape in the warm zone of the region of La Montaña of Guerrero for a 18 years period, and to relate these dynamics with diverse socioeconomic factors.

Landsat 5 TM scenes from the dry season of 1993, 2001 and 2011 were classified using techniques of remote sensing with the algorithm of Maximum Entropy (MaxEnt). Using Riitters method we analyzed fragmentation of the dry tropical deciduous forest. The analysis of the changes' driving factors was made with simple linear regression models.

We generated three terrestrial coverage maps identifying 14 categories: seasonally dry tropical forest, temperate forests, oak forest, transitional vegetation, agriculture and pastures, tlacolol agriculture, moist or irrigated agriculture, fallow areas of irrigated agriculture or moisture, burned areas, regenerating dry tropical deciduous forest, regenerating temperate forests, regenerating oak forests, settlements, and areas without vegetation.

Our results showed an ongoing rearrangement of the elements that make up the landscape of the area. There is loss as well as regeneration of vegetation with more than twenty years old. The between-categories transition analysis showed that loss of vegetation is mainly due to the increase in agriculture and pastures. Besides, vegetation regeneration results from the resting or abandonment of the same productive lands.

Los resultados sugieren que el grado de accesibilidad a las zonas es uno de los factores que más influyen en la toma de decisiones de los pobladores sobre

transformar o conservar un área forestal, por lo que se propone que se haga un análisis más profundo al respecto.

The results suggest that the degree of accessibility of the areas is one of the factors that most influence decision-making of the settlers on transforming or conserve a forest area, so it is proposed to make a deeper analysis in this regard.

From the results obtained new research questions arise: (i) an abandonment of agricultural land is taken or they are lands that are at rest?, (ii) variables that showed a high correlation with the extension of agricultural land such as the education and marginalization, variables are causal factors of loss of forestall coverage?, and (iii) will the areas of transitional fragmentation be best suited to perform actions of restoration?

Keywords: Landscape dynamics, remote sensing, MaxEnt, fragmentation, seasonally dry tropical forest, changes driving factors.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios de un paisaje son resultado de las interacciones entre factores biofísicos y socioeconómicos (Turner *et al.*, 1989; Upton *et al.*, 2014). En la actualidad se reconoce que las actividades humanas se han convertido en la principal causa de estos cambios, modificando la estructura y el funcionamiento de los paisajes (Meyer y Turner II, 1994; Lambien *et al.*, 2001).

Para realizar el análisis de la dinámica de un paisaje lo más utilizado es la cuantificación de las pérdidas o ganancias por cada cobertura terrestre en un área determinada, a un intervalo de tiempo dado, utilizando técnicas de percepción remota (López-García, 2007; Nájera *et al.*, 2010). Sin embargo, el análisis de la deforestación y los patrones de fragmentación son indicadores más completos porque permiten ver los cambios estructurales del paisaje (Chuvienco, 1996; Lambin, 1996; Chuvienco, 2002), y posteriormente relacionarlos con factores socioeconómicos que conducen dichos cambios (Turner y Ruscher, 1988; Gueist y Lambin, 2001; Peña, 2007).

Son muchos los factores que pueden contribuir a la modificación de un paisaje, los más señalados son la intensificación o el abandono agrícola, la migración y el crecimiento poblacional, la expansión de la infraestructura y las políticas económicas (Sanderson *et al.*, 2002; Geri *et al.*, 2010; Pérez-Hugalde *et al.*, 2011). La relación entre los factores y procesos de un paisaje permite obtener herramientas que sirven como base para diseñar estrategias de manejo y conservación, lo cual es esencial para la toma de decisiones en el ámbito de las políticas, los programas forestales, y a todos los niveles de desarrollo sustentable (Lambin *et al.*, 1996; Lambin *et al.*, 2001; Lu *et al.*, 2003; Mora, 2008; FRA, 2010).

En México, como en muchos países tropicales, hay procesos importantes que modifican los paisajes terrestres, conocidos como cambios en la cobertura terrestre. Estos cambios están dados especialmente por la apertura de zonas

arboladas para el establecimiento de áreas agrícolas, ganaderas y urbanas (Carabias *et al.*, 1993; Casas *et al.*, 1994; Geist y Lambin, 2001; Múgica *et al.*, 2002). En el caso particular de la región de La Montaña de Guerrero, se ha dado una transformación de los recursos naturales debido a la intensidad de uso del terreno desde hace más de 700 años (Dehouve, 1995; Cervantes, 2005). Como resultado de esto, gran parte de sus recursos naturales presentan algún tipo de degradación (Landa, 1989; Landa, 1992; Carabias *et al.*, 1994; González, 1996; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

La importancia biológica de la región radica en que La Montaña mantiene uno de los pocos remanentes de selva baja caducifolia (SBC) de la ecoregión del Balsas, caracterizada por tener altos niveles de endemismos, lo que la posiciona como una zona de significativo valor biológico a nivel regional (Bezaury, 2010), por lo cual el análisis de su dinámica del paisaje puede ayudar a sentar las bases para diseñar estrategias de manejo y conservación de los recursos naturales.

### *1.1 La perspectiva del paisaje*

El paisaje es un sistema dinámico resultado de las interacciones entre procesos naturales y sociales, donde se ven integrados tres tipos de factores: bióticos, abióticos y antrópicos. Al ser un sistema dinámico, el cambio es una característica inherente del paisaje (Troll, 1939; Turner *et al.*, 2001; Bürgi *et al.*, 2004).

La ecología del paisaje es una disciplina que resulta de la interacción de la geografía física y la ecología, la cual permite sentar las bases para la planificación de un territorio, integrando así los aspectos sociales de los ecosistemas (Troll, 1939)

De esta manera, se reconoce que la ecología del paisaje es un campo interdisciplinario que incorpora el análisis espacial (estructura) y el modelado con la investigación de los procesos ecológicos (Harbin y Wu, 2003), examinando la

relación existente entre los patrones espaciales de los sistemas naturales y antrópicos, y los procesos que se dan a nivel de paisaje (Wu, 2008; Wu y Hobbs, 2007), incluyendo la relación con los regímenes de disturbio (Paudel y Yuan, 2012).

Dentro de la dinámica de un paisaje destacan procesos tales como los cambios en la cobertura terrestre, la pérdida de hábitat y la fragmentación (Paudel y Yuan, 2012). Para abordar los estudios a nivel de paisaje se utiliza el análisis espacial, el cual se define como el conjunto de técnicas diseñadas para encontrar patrones, detectar anomalías o probar hipótesis basadas en datos de procesos que se encuentran dentro del ámbito geográfico, esto involucra la dinámica, permanencia, tasas y transiciones de cambio de las coberturas terrestres (Goodchild, 2008), y su relación con procesos ecológicos y socioeconómicos definen la dinámica de un paisaje (Paudel y Yuan, 2012).

Por el énfasis que se da a la relación entre el hombre y su ambiente, la ecología del paisaje tiene muchas aplicaciones en el manejo y la planeación, por lo que el estudio de la dinámica del paisaje y los factores causales del cambio del paisaje pueden ser una contribución a la ecología del paisaje a través de la solución de problemas del mundo real (Bürgi *et al.*, 2004), permitiendo así evaluar los recursos naturales, y de esta manera sentar las bases para las políticas de aprovechamiento, conservación o restauración (Irastorza, 2006).

## *1.2 Cambios en la cobertura forestal*

En las últimas décadas la cobertura forestal ha experimentado una acelerada pérdida a nivel mundial (Lambin *et al.*, 2001; Pan *et al.*, 2010). A pesar de que en las regiones tropicales se alberga gran parte de la biodiversidad del mundo, es en estas zonas donde se registran las mayores reducciones de la cobertura forestal nativa (Bocco *et al.*, 2000; FAO, 2003; Velázquez *et al.*, 2002a).

Se define como cobertura forestal a las tierras que sostienen una asociación vegetal dominada por árboles o arbustos de cualquier tamaño, que crecen y se desarrollan formando bosques, selvas y vegetación de zonas áridas, son capaces de producir madera u otros productos forestales, y de ejercer influencia sobre el clima, suelo o sobre el régimen de aguas, o de proveer refugio al ganado y vida silvestre (Diario Oficial de la Federación, 2001). Estas áreas pueden cambiar por causas naturales como huracanes, incendios o erupciones volcánicas, Sin embargo, la mayor parte de su pérdida se debe a las actividades humanas (Rivero, 1994; Noble y Dirzo, 1997). Estas actividades están ligadas a fuerzas sociales, económicas, políticas, tecnológicas y culturales (Lambin *et al.*, 2001; Agarwal *et al.*, 2002).

Los cambios en la cobertura forestal inducidos por la acción humana, son considerados como uno de los principales factores del cambio global ambiental, que presenta diversos efectos a diferentes escalas (Turner, 1989; Verburg *et al.*, 1999; Veldkamp y Lambin, 2001; Lambin *et al.*, 2001; Foley *et al.*, 2005; Guan *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2012). A nivel local y regional, inducen el deterioro, degradación y erosión del suelo presentándose una pérdida de la productividad, cambios en el microclima, alteraciones en los regímenes de temperatura y precipitación, y modificaciones en el ciclo hídrico, deteriorando la recarga y el abastecimiento de acuíferos (Schlamadinger y Karjalainen, 2000; Reyes *et al.*, 2006).

Al generar una reducción de la cubierta vegetal, se da una pérdida de hábitats (Meffe y Carroll, 1994; Murcia, 1995; Schlamadinger y Karjalainen, 2000; Harte, 2001; Reyes *et al.*, 2006), con la consecuente disminución de la biodiversidad (Saunders *et al.*, 1991; Whitmore y Sayer, 1992) sumado a una clara pérdida de los servicios ambientales (Velázquez *et al.*, 2002b; Otegui-Acha, 2007).

A nivel global, la pérdida de la cobertura vegetal altera el ciclo del carbono, incrementa el efecto albedo y modifica el balance de agua atmosférica, de forma

que puede contribuir al calentamiento global (Houghton, 1991; Lugo, 1992; Whitmore, 1997; Meli 2003; Márquez *et al.*, 2005; Lund, 2006; García y Mas, 2008).

Estos cambios son resultado de una compleja interacción entre el ser humano y el medio biofísico (Granados *et al.*, 2002; Sohl *et al.*, 2010; Upton *et al.*, 2014), por lo que estudiar las fuerzas que conducen estos cambios es de vital importancia para comprender, modelar y predecir el cambio del ambiente a diferentes escalas espaciales, así como para establecer acciones de manejo que permitan responder mejor a este cambio (Meyer y Turner II, 1994).

### *1.3 Fragmentación de coberturas forestales*

La fragmentación es considerada como uno de los temas más relevantes en la conservación biológica (Meffe y Carroll, 1994) que en la actualidad representa una de las principales amenazas a la biodiversidad del mundo (Meffe y Carroll, 1994; Murcia, 1995; Harte, 2001; Fahrig, 2003; Lienert, 2004; Neel *et al.*, 2004; Gómez *et al.*, 2005; Reyes *et al.*, 2006; Hilty *et al.*, 2006).

La fragmentación de la cobertura forestal se define como la desintegración de los patrones existentes en la cantidad y continuidad de bosque (Mora, 2008), dando como resultado la división de un área forestal continua dentro de remanentes más pequeños y aislados entre sí (Forman, 1995; McGarigal y McComb 1999; Didham, 2010), donde cada fragmento representa áreas con condiciones ambientales relativamente homogéneas a una determinada escala (McGarigal, 2002).

Esto involucra cambios en la cantidad y tamaño de las áreas forestales remanentes, así como cambios en la conectividad, por lo tanto el análisis de la fragmentación permite medir los cambios en los patrones espaciales, lo cual es diferente a medir simplemente la pérdida del hábitat, siendo esto un reflejo de los

cambios en la configuración de un paisaje (Fahrig, 2003; Mora, 2008; Didham, 2010).

De esta manera, la fragmentación tiene dos grandes consecuencias, la reducción y el aislamiento de la cobertura forestal. Los efectos de estas consecuencias sobre la respuesta de los organismos dependen de las características biológicas de las especies, tales como el tamaño corporal y la capacidad de dispersión (Fahrig, 2003).

El aislamiento y la reducción del hábitat pueden alterar procesos tales como la polinización, dispersión de semillas, reproducción, colonización, floración y fructificación de las plantas, las asociaciones mutualistas, depredación y competencia, así como la herbivoría, entre otras (Hastings, 1990; Kareiva, 1990; Taylor, 1990; Harrison y Fahrig, 1995; Kareiva y Wennergren, 1995; Nee *et al.*, 1997; Thies y Tschardtke, 1999; Aizen y Feinsinger, 2004; Kondoh, 2003; Lienert, 2004).

#### *1.4 Factores causales de los cambios en la cobertura forestal*

Los cambios en la cobertura forestal son resultado de la interacción de múltiples factores provenientes de diferentes niveles de organización que conforman los sistemas ambientales y humanos. Estas fuerzas o factores pueden ser ecológicas, sociales, económicas, culturales o políticas (Lambin *et al.*, 2003; Upton *et al.*, 2014).

Esta combinación de factores varía con el tiempo y el espacio, de acuerdo a condiciones específicas humanas y ambientales. Entender los factores que causan estos cambios es una de las claves para la investigación acerca del cambio global ambiental (Turner *et al.*, 1990, Turner y Meyer 1994, Lambin *et al.*, 1999, Geist 1999; Lambin *et al.*, 2001 en Geist y Lambin, 2001).

Los factores causales pueden ser directos o indirectos. Los directos, también conocidos como causas próximas, son las actividades humanas o las acciones inmediatas que generan la conversión directa de una cobertura terrestre a otra por ejemplo la remoción de la cobertura forestal para introducir un cultivo (Ojima, 1994). Las causas indirectas, de raíz o subyacentes son fuerzas fundamentales que operan más difusamente, como por ejemplo la distancia a los caminos o a los cuerpos de agua, alterando una o más causas próximas (Geist y Lambin, 2001; Geist y Lambin, 2002).

Los factores directos generalmente operan a nivel local (de granjas, invernaderos o comunidades). Por el contrario, las causas subyacentes operan a nivel regional (distritos, provincias o países) e inclusive a nivel global y, también pueden interactuar entre distintos niveles de organización. Los factores subyacentes a menudo son exógenos de las comunidades y no son controlables por éstas (Lambin *et al.*, 2003).

Los factores de cambio más estudiados son los socioeconómicos, políticos, tecnológicos, naturales, y culturales, por lo que forman parte de un sistema complejo de dependencias, interacciones, retroalimentaciones, y tienen efectos en distintos niveles espaciales y temporales. Dependiendo de la escala de estudio pueden ser intrínsecos, dentro del lugar o extrínsecos los que operan a mayores escalas pero tienen efecto en la zona de estudio (Bürgi *et al.*, 2004).

A continuación se señalan algunos de los factores comúnmente asociados con los cambios en la cobertura forestal, también conocidos como factores causales de la deforestación (Geist y Lambin, 2001; Geist y Lambin, 2002).

**FACTORES ECONÓMICOS.** Diversos estudios establecen que la deforestación es resultado de los cambios en las condiciones económicas. Los factores económicos y las políticas relacionadas definen un rango de variables que tienen un impacto directo en los encargados de la toma de decisiones para el

manejo del territorio, por ejemplo, los precios de los productos agropecuarios, subsidios económicos, impuestos, costos de producción y transporte, así como el acceso a créditos (Barbier, 1997).

**FACTORES INSTITUCIONALES.** De la mano de los factores económicos se encuentran los factores institucionales. Para explicar los cambios en la cobertura forestal es importante entender a las instituciones (políticas, legales, y económicas), así como sus interacciones con los individuos que toman las decisiones (Ostrom *et al.*, 1999). El acceso a la tierra, el capital, la tecnología y la información, están frecuentemente limitadas por las políticas locales y nacionales así como por diversas instituciones (Batterbury. y Bebbington, 1999). Dentro de estos aspectos se incluyen los regímenes de propiedad, las políticas ambientales y las sociedades civiles (Lambin *et al.*, 2003).

Algunos ejemplos de políticas que influyen en la deforestación son los incentivos fiscales por parte de un Gobierno, los subsidios al campo y la ganadería y los créditos (Pichón, 1997; McCracken, 1999; Deininger y Minten, 1999), el control de los precios de los productos agrícolas (Deininger y Minten, 1999); la descentralización (Xu *et al.*, 1999; Becker, 1999) o el desarrollo de la infraestructura (Lambin *et al.*, 2003).

En particular se señala que los subsidios para la construcción de caminos y la producción agrícola así como para la silvicultura pueden ser grandes impedimentos para la sustentabilidad ambiental (Myers y Kent, 2001).

**FACTORES DEMOGRÁFICOS.** Los cambios en la densidad poblacional, ya sean incrementos o disminuciones, tienen un gran impacto en el uso del territorio, impactando en los bienes y servicios de los ecosistemas. Por lo que el incremento en el número de pobladores en un lugar determinado es reconocido como uno de los mayores factores causales de deforestación en las últimas décadas (Sanderson *et al.*, 2002; Lambin *et al.*, 2003).

Estos cambios demográficos generalmente están ligados a los incrementos de la urbanización, la demanda de espacios para vivienda, infraestructura y para la producción agropecuaria (Lambin *et al.*, 2003). Esto significa que un mayor número de personas aumenta la necesidad de mayores recursos y presiones para el territorio, subiendo así las tasas de consumo (Malthus, 1978). Aunque es importante considerar que las consecuencias de la interacción entre la densidad poblacional y el medio ambiente depende de la naturaleza de la interacción, y en particular de las especies, ecosistemas y procesos en cuestión (Sanderson *et al.*, 2002).

Pero no solo la densidad poblacional es uno de los factores más estudiados, la migración resulta ser uno de los más importantes factores demográficos que causa cambios en la cobertura terrestre (Angelsen y Kaimowitz, 1999). La migración opera como un factor significativo junto con otros factores no-demográficos, tales como las políticas gubernamentales, los cambios en los patrones de consumo, factores económicos y la globalización (Geist y Lambin, 2001).

**FACTORES TECNOLÓGICOS Y DE INFRAESTRUCTURA.** Antes de la revolución industrial, la capacidad del hombre para modificar el ambiente era muy limitada. Sin embargo,, a partir del incremento y desarrollo de la tecnología y la infraestructura, el impacto humano sobre los recursos naturales fue mucho más acelerado. Es por esto que dichos aspectos han sido de los más estudiados como factores causales de la deforestación (Gueist y Lambin, 2001; Sanderson *et al.*, 2002).

**FACTORES DE ACCESIBILIDAD.** Los caminos, los cuerpos de agua y las líneas de costa, generan oportunidades para la cacería y la extracción de recursos, contaminación, deforestación y fragmentación de los recursos naturales, con la finalidad de obtener ganancias sociales y económicas (Gucinski *et al.*,

2001). Por lo cual se cree que a mayor accesibilidad, mayor impacto sobre los recursos (Sanderson *et al.*, 2002).

**FACTORES CULTURALES.** Numerosos factores culturales influyen en la toma de decisiones sobre el uso del territorio. Dentro de estos factores se encuentran los valores, las creencias, las posturas y las percepciones individuales que influyen en las personas que se encargan de tomar decisiones sobre un territorio (Lambin *et al.*, 2003).

**GLOBALIZACIÓN.** La globalización como tal no es un factor causal del cambio de uso del suelo, pero subyace a otros factores causales de este cambio. La globalización acelera el impacto de otros factores del uso del suelo. Por ejemplo, Barbier (2000), identificó que el cambio de uso del suelo en Ghana y México está relacionado con la liberalización y la globalización del impacto económico dado por las reformas de apertura del sector agro-industrial. Directamente incrementa la conversión de zonas forestales a zonas de producción agrícola (Lambin *et al.*, 2003).

**POBREZA Y ANALFABETISMO.** El vínculo entre deforestación y pobreza es múltiple y muy complejo. Las investigaciones al respecto no presentan resultados concluyentes (INE, 2001). Por esta razón, la pobreza ha sido un factor muy controvertido en relación con la pérdida de la cobertura forestal, ya que mientras algunos investigadores consideran que la pobreza no necesariamente genera deforestación, sino que es la combinación de diversos factores que conllevan a la pérdida de la cobertura forestal (Muñoz y Guevara, 1995; Loening, y Markussen, 2003), otros relacionan la pobreza como un factor de deforestación (Peterson-Zwane, 2007).

Lo cierto es que la pobreza se combina con otros factores como la falta de información y poca aplicación tecnológica, ya que se encuentra limitada la obtención de capacitación y conocimientos técnicos para utilizar de manera más

adecuada los recursos forestales. Así mismo se da una ausencia de actividades productivas alternativas por la misma pobreza y por la falta de acceso a la educación (Muñoz y Guevara, 1995; INE, 2001; Loening, y Markussen, 2003).

En este sentido, el analfabetismo limita más las opciones de los pobladores para desarrollarse en otras actividades económicas alternativas a la agricultura de subsistencia. Así, con menores alternativas disponibles, los pobres de las zonas rurales consideran los bosques y selvas como una solución a corto plazo para solventar sus problemas económicos (INE, 2001).

### *1.5 Selva baja caducifolia*

La selva baja caducifolia (SBC) (SPP, 1981; Miranda y Hernández, 1963) también conocida como selva seca (Dirzo y Ceballos, 2010) o bosque tropical caducifolio (Rzedowski, 1988), son comunidades de plantas con árboles de entre 4 y 15 m de altura, donde más del 75% de los árboles dominantes pierden entre el 50 y el 100% del follaje en la época seca del año (6-8 meses).

Se desarrolla en climas cálidos y subhúmedos, semisecos o subsecos (SPP, 1981, Miranda y Hernández, 1963). Presentan una cobertura del dosel mayor al 30%, tienen predominancia de especies de hoja ancha, las cuales ocupan más del 75% del dosel, y se desarrollan por debajo de los 1200 msnm. En ellas se concentra una gran variedad de especies de flora y fauna, muchas de las cuales presentan extraordinarias adaptaciones a las presiones climáticas (Olson *et al.*, 2000).

Se distribuye principalmente a lo largo de la vertiente del Pacífico de manera prácticamente continua, desde el estado de Sonora y la parte sur de la Península de Baja California, hasta la depresión central de Chiapas, y en manchones discontinuos hacia la región central del país y por la vertiente del

Golfo, en los estados de Veracruz y el noroeste de la Península de Yucatán (Rzedowski, 1988; Dirzo y Ceballos, 2010).

Su importancia radica en que contribuyen con cerca de 20% de especies del total de flora de México, y sobre todo por su elevado nivel de endemismo, ya que cerca del 60% de las especies de plantas vasculares y alrededor del 30% de los vertebrados son endémicos del país (Ceballos y García, 1995; Ceballos y Valenzuela, 2010; Lott y Atkinson, 2010).

Se reporta que su tasa de deforestación anual varía entre 1.4% y 2% (Masera *et al.*, 1992; Trejo y Dirzo, 2000). Sus amenazas más graves se derivan de las actividades humanas (Trejo, 2010), principalmente por la extensión de la frontera agropecuaria (Landa, 1992; Carabias *et al.*, 1994 González, 1996; Mur, 1996; Trejo y Dirzo, 2000; Figueroa, 2002), los aclareos para establecer pastos exóticos, los incendios, la intensificación de procesos de degradación, la extracción de productos maderables y no maderables, y la ausencia de la aplicación de reglamentos relativos al uso de estos recursos o extracción de especies consideradas en peligro de extinción. Por lo que actualmente se le considera uno de los ecosistemas más amenazados del país (Búrquez *et al.*, 1998; Trejo y Dirzo, 2000; Hoekstra *et al.*, 2005; Maass *et al.*, 2010), y menos representado en el sistema de áreas protegidas del país (Ceballos *et al.*, 2010; Maass *et al.*, 2010).

De acuerdo a los datos globales más recientes (Miles *et al.*, 2006), las selvas secas de México, el Caribe y Centroamérica destacan a nivel mundial por contar con el menor porcentaje de superficie incorporada a un régimen de protección, sólo el 5.7% de toda la superficie de estas selvas, por lo que es importante contar con herramientas que permitan identificar las áreas más vulnerables y las que están mejor conservadas para poder implementar estrategias de conservación (Meyer y Turner II, 1994; Lambin *et al.*, 2001; Mora, 2008; FRA, 2010).

## 1.6 La región de La Montaña de Guerrero: un caso de estudio

La región de La Montaña de Guerrero cuenta con una larga historia de degradación de sus recursos naturales aunada a sus fuertes problemáticas socioeconómicas que integra a los 19 municipios que la conforman, como parte de las Zonas de Atención Prioritaria del País (CONEVAL, 2012).

La mayor amenaza de la SBC tanto a nivel nacional como en la región de La Montaña, es la expansión e intensidad de la ganadería caprina (Landa, 1989; Carabias *et al.*, 1994; González, 1996; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997), seguido de la expansión agrícola (Landa, 1992; PAIR *et al.*, 1992; Arias, 1993; Carabias *et al.*, 1994; González, 1996; Mur, 1996; Figueroa, 2002), aunque en las últimas décadas las altas tasas de migración de la región han promovido el abandono de las tierras de cultivo, debido principalmente a la baja producción agrícola y en general a la poca rentabilidad de las actividades del sector primario (Cervantes, 2005; INEGI, 2010; INEGI, 2011a; SAGARPA, 2011a; CONEVAL, 2012; Tlachinollan, 2012).

Otro factor de riesgo lo constituyen los numerosos incendios forestales, que en algunas ocasiones pueden ser accidentales, pero la mayoría son intencionales para la introducción de pastizales o por la agricultura de tlacolol, un sistema de producción agrícola similar al sistema de roza-tumba-quema (Carabias *et al.*, 1994; Casas *et al.*, 1994).

La región de La Montaña está caracterizada por poseer una alta complejidad geológica, edáfica y ecológica, reflejada en un sistema montañoso muy intrincado, con una topografía abrupta y predominancia de laderas fuertemente inclinadas, que le confiere una alta heterogeneidad ambiental (Landa, 1992; González, 1996; Mur, 1996; Cervantes, 2005). Está dividida en dos zonas climáticas; la cálida subhúmeda y la templada. La vegetación de la zona cálida está dominada por SBC y la de la zona templada por bosques de pino-encino, bosques de encino y bosque mesófilo de montaña (Carabias *et al.*, 1994; Casas *et al.*, 1994).

La importancia de la zona cálida radica en que alberga grandes extensiones de SBC, uno de los ecosistemas más amenazados y que menos atención han recibido (Búrquez *et al.*, 1998; Trejo y Dirzo, 2000; Hoekstra *et al.*, 2005; Miles *et al.*, 2006; Maass *et al.*, 2010), además de que mantiene uno de los pocos remanentes de selva baja caducifolia (SBC) de la ecoregión del Balsas, los cuales tienen altos niveles de endemismos (Bezaury, 2010).

En este contexto, el análisis de la dinámica de cambios de la cobertura terrestre, así como el estudio de la fragmentación del hábitat y su relación con algunos factores socioeconómicos, resultan ser herramientas importantes para la toma de decisiones sobre el manejo y uso de los recursos naturales (Meyer y Turner II, 1994; Lambin *et al.*, 2001; Velásquez, 2002a; Mora, 2008; FRA, 2010).

## 2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los cambios en la cobertura forestal así como sus efectos, son unas de las principales causas de la actual crisis de la biodiversidad en el mundo (Lambin *et al.*, 2001). Al ser la cobertura forestal el primer factor asociado a la cantidad y calidad del hábitat, y ser la expresión evolutiva del agregado de especies vegetales dentro de un lugar y tiempo determinados, el análisis de su dinámica, resulta ser uno de los principales indicadores para evaluar el estatus, las amenazas y las tendencias de cambio de una región (Lambin *et al.*, 2001; Mora, 2008).

Este análisis sirve para identificar las zonas que han cambiado, las tasas o velocidad de cambios, y las causas de cambio, contribuyendo a tener datos numéricos y cifras para conocer las proporciones de cambio, así como la identificación de las transiciones entre categorías, permitiendo reconocer las trayectorias de cambio, y la caracterización de aquellas zonas donde existe suficiente capital ecológico como para ser cumplidos los objetivos de conservación (Mora, 2008; Marcial, 2011).

Existen pocos estudios que aborden el cambio en la cobertura vegetal en la región de La Montaña, y los que existen están enfocados a escala municipal, principalmente en la zona templada de la región (Landa, 1992; González, 1996; Mur, 1996). Estos trabajos se han centrado en entender las causas de los cambios en la cobertura terrestre, sin presentar énfasis en el análisis espacial que les permita definir los cambios entre categorías de vegetación y uso del suelo, utilizando insumos y metodologías distintas para hacer comparaciones.

A pesar de que existen esfuerzos por llevar a cabo estudios interdisciplinarios en la zona que permitan sentar las bases para diseñar estrategias de conservación y restauración (PAIR *et al.*, 1992; Carabias *et al.*, 1993; Cervantes *et al.*, 2001; Cervantes, 2005; Cervantes, 2008), estos han

tenido poca atención en la elaboración del análisis espacial, que como ya se mencionó anteriormente es de suma importancia en el diseño y toma de decisiones. Por lo anterior, los resultados obtenidos en este estudio pueden servir como base para la planificación del manejo del territorio, de la cual se pueden desprender políticas de restauración, conservación y protección de áreas potenciales de manejo de recursos naturales de la región.

### **3. HIPÓTESIS**

1. La disminución de la superficie de selva baja caducifolia y el incremento de su fragmentación están correlacionadas con el aumento de las áreas de agricultura y los pastizales, la densidad poblacional, el grado de marginación y el número de pobladores analfabetas.

2. La extensión de la superficie de selva baja caducifolia en regeneración se correlaciona con las áreas de baja densidad poblacional, la lejanía a poblados y caminos y el incremento de la población mayor a 65 años.

3. El incremento de la agricultura y pastizales está correlacionado con el analfabetismo, el alto grado de marginación, y la densidad poblacional.

## **4. OBJETIVOS**

### *4.1 Objetivo general*

Analizar la dinámica de transformación del paisaje de la zona cálida de la región de La Montaña de Guerrero durante dieciocho años (1993-2011) y explorar su relación con algunos factores económicos, demográficos, institucionales, biofísicos, culturales y de accesibilidad.

### *4.2 Objetivos particulares*

**4.2.1** Generar los mapas de cobertura terrestre de la zona cálida de la región de La Montaña de Guerrero para los años de 1993, 2001 y 2011.

**4.2.2** Analizar la dinámica del paisaje de la zona cálida de la región de La Montaña de Guerrero en 1993, 2001 y 2011.

**4.2.3** Analizar la fragmentación de la selva baja caducifolia de la Región de La Montaña de Guerrero.

**4.2.4** Realizar un análisis exploratorio de la relación entre los datos del análisis espacial y factores socioeconómicos, culturales y de infraestructura a nivel municipal.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Zona de estudio

La región de La Montaña se localiza en la parte noreste del estado de Guerrero. Limita al norte con el estado de Puebla, al este con Oaxaca, al sur con la región de la Costa Chica de Guerrero y al oeste con la región central del Estado. Está conformada 19 municipios (Figura 1). Para delimitar la zona de estudio se utilizó la información del marco geoestadístico municipal (INEGI, 2000), donde se obtuvieron las capas vectoriales para los municipios que integran la zona cálida de la región de La Montaña en base a la información climática (García, 1998).

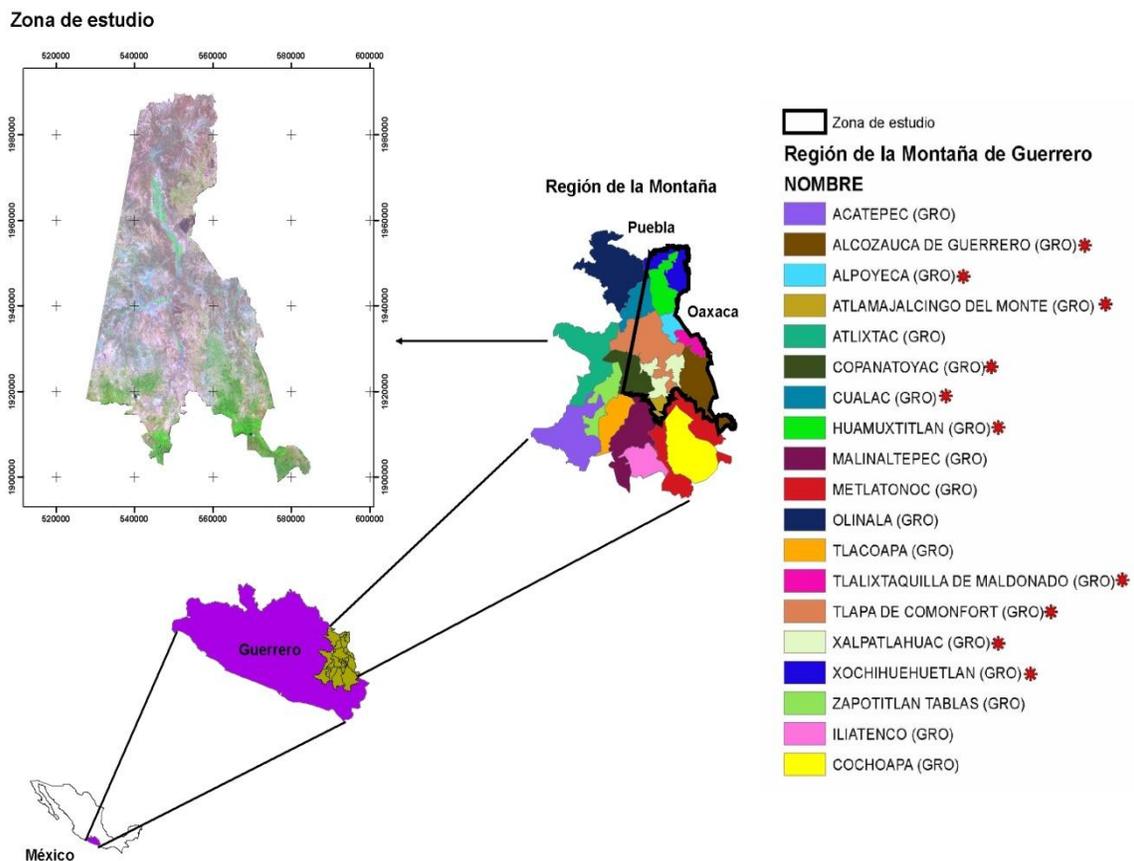


Figura 1. Ubicación de la región de La Montaña de Guerrero donde se muestran los municipios que se definieron como zona de estudio con una marca roja. Imagen Landsat 5 TM 2011 falso color compuesto RGB 5 4 3.

## 5.2. Imágenes de satélite

Para realizar el análisis espacial se utilizaron tres imágenes del satélite Landsat 5 sensor TM (*Thematic mapper*) Path (X = órbita central longitudinal del satélite) 25 & Row (Y = línea central latitudinal de una escena) 48 (Cuadro 1), obtenidas del sitio de Glovis<sup>1</sup> administrado por la **USGS**. Las imágenes fueron descargadas del archivo histórico de Landsat.

Cuadro 1. Resumen de imágenes que se usaron en el análisis espacial.

Satélite	Sensor	Año	Mes	Día	Path	Row
Landsat	TM	1993	Abril	04	25	48
Landsat	TM	2001	Abril	03	25	48
Landsat	TM	2011	Abril	06	25	48

Se utilizaron imágenes Landsat debido a que están diseñadas para la observación de los recursos terrestres, son fácilmente disponibles, tienen bandas multi-espectrales (siete bandas espectrales) y poseen una resolución temporal (16 días) y espacial (30 metros) que se adecua a los objetivos del presente trabajo. Se optó por el satélite 5 debido a que se encontraron tres escenas de las fechas de interés (una por cada década de 1990, 2000 y 2010) con las características requeridas (pocas nubes y nivel de procesamiento 1T; con corrección del terreno).

Las imágenes del mismo sensor facilitan la comparación multi-temporal, puesto que presentan la misma resolución en todas sus dimensiones, además, particularmente las escenas utilizadas en el presente trabajo pertenecen a la estación seca, lo que permite disminuir las diferencias dadas por los efectos fenológicos de la vegetación, además de que tienen un mínimo porcentaje de cobertura de nubes (Menesses, 2009).

### 5.3 Correcciones radiométricas

Las correcciones radiométricas de las imágenes de satélite hacen referencia a los procesos que tienden a eliminar cualquier anomalía detectada en los niveles de los valores radiométricos de los píxeles que los componen. Dentro de estas correcciones se incluyen los problemas radiométricos derivados del mal funcionamiento del sensor (por ejemplo el bandeo), las magnitudes físicas y la corrección atmosférica de datos (Chuvienco, 2002).

En el presente estudio se realizaron dos correcciones radiométricas, la corrección atmosférica absoluta y la normalización topográfica.

#### 5.3.1 Corrección atmosférica absoluta

La corrección atmosférica absoluta es de gran utilidad para eliminar los efectos que pueden causar los componentes atmosféricos al momento de la toma de la imagen, tales como la bruma, es decir que la radiancia medida por el sensor remoto depende de la reflectividad de la superficie observada y la de geometría de iluminación.

La radiancia está perturbada por dos fenómenos atmosféricos: la absorción gaseosa y la dispersión por moléculas gaseosas y aerosoles, fenómenos que provocan que la medida radiométrica del área acotada por un píxel se vea contaminada por la radiación que se propaga desde los píxeles próximos, lo cual se denomina como “ruido” (Chuvienco, 2002).

La corrección se aplica sobre los datos radiométricos de cada escena. Dicha corrección se realizó para las tres escenas Landsat 5 TM utilizando el software ERDAS 9.0, con el módulo *modeler*. El procedimiento se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Procedimiento para realizar la corrección atmosférica absoluta de las tres escenas Landsat 5 TM.

Los datos requeridos para esta transformación se tomaron de los metadatos asociados a las escenas descargadas (Chander y Markham, 2003). Estos datos son la fecha, hora de la toma de la escena y la elevación del sol. Los valores de reflectividad obtenidos en punto flotante se re-escalaron a bytes (0 a 255). Se usaron seis bandas espectrales (1 – 5 y 7) y solo se descartó a la banda del infrarrojo térmico (6).

### 5.3.2 Normalización topográfica

La normalización topográfica permite eliminar las sombras reflejadas en la imagen tomada por el sensor que son producidas por las formas del terreno, ya que los efectos derivados del gradiente y dirección de la pendiente son bastante notorios, especialmente en las zonas de sombra (Chuvienco, 2002).

Esto es de gran importancia debido a que las sombras en las imágenes pueden generar diferencias espectrales que se traducen en problemas al momento de clasificar las coberturas terrestres.

La disponibilidad de modelos digitales de elevación (MDE) permite abordar con cierta garantía esta corrección, homogeneizando la señal de la cubierta terrestre (Chuvienco, 2002), estimando la variación introducida en los niveles digitales (ND) por el efecto topográfico a partir de modelar las condiciones de iluminación al momento de la toma de la imagen. Para ello se utilizó el método denominado corrección de C.

El MDE utilizado para la escena path / row: 25/48, se descargó del geoportal CGIAR-CSI<sup>2</sup>. Estos modelos se obtienen en base a los datos del SRTM (Suttle Radar Topographic Mission) y son generados por la NASA, a una resolución espacial de 90 metros (m) por lo cual se realizó una reinterpolación para aumentar la resolución a 30 m.

Esta corrección se realizó en los programas ArcInfo y ArcMap. El primer paso para realizar la corrección de C es calcular el ángulo de incidencia ( $\gamma_i$ ), el cual está en función del ángulo solar y de pendiente:

**Fórmula (1):**

$$\cos \gamma_i = \cos \theta_i \cos \theta_p + \sin \theta_i \sin \theta_p \cos (\Phi_a - \Phi_o)$$

Donde:

$\gamma_i$  = ángulo cenital del flujo incidente

$\theta_i$  = ángulo cenital solar

$\theta_p$  = gradiente de la pendiente

$\Phi_a$  = ángulo azimutal solar

$\Phi_o$  = ángulo de la orientación de la pendiente

La aplicación de esta fórmula da como resultado la obtención del mapa de sombras de la región.

El siguiente paso es compensar la diferencia de radiación incidente entre vertientes, con el objetivo de reducir el efecto topográfico, utilizando el método propuesto por Teillet *et al.*, (1982):

**Fórmula (2):**

$$P_{h,i} = P_i (\cos\theta_i + C_k / \cos\gamma_i + C_k)$$

Donde:

$P_{h,i}$  = reflectividad de un píxel  $i$  en terreno horizontal

$P_i$  = reflectividad de un píxel en pendiente

$\theta_i$  = ángulo cenital solar

$\cos\gamma_i$  = ángulo de incidencia

$C_k$  = constante empírica para cada banda  $k$  que se relaciona con la rugosidad promedio de esa banda, y que se obtiene a partir de la fórmula 3:

**Fórmula (3):**

$$C_k = (b_k / m_k)$$

Donde:

$b_k$  = constante

$m_k$  = pendiente

Para aplicar estas dos últimas fórmulas se realizó una malla regular de puntos en el programa Q-GIS v.1.8.0., con la finalidad de obtener información de cada una de las bandas que componen la imagen satelital.

El procedimiento general de la normalización topográfica mediante el método de la corrección de  $C$  se muestra en la Figura 3.

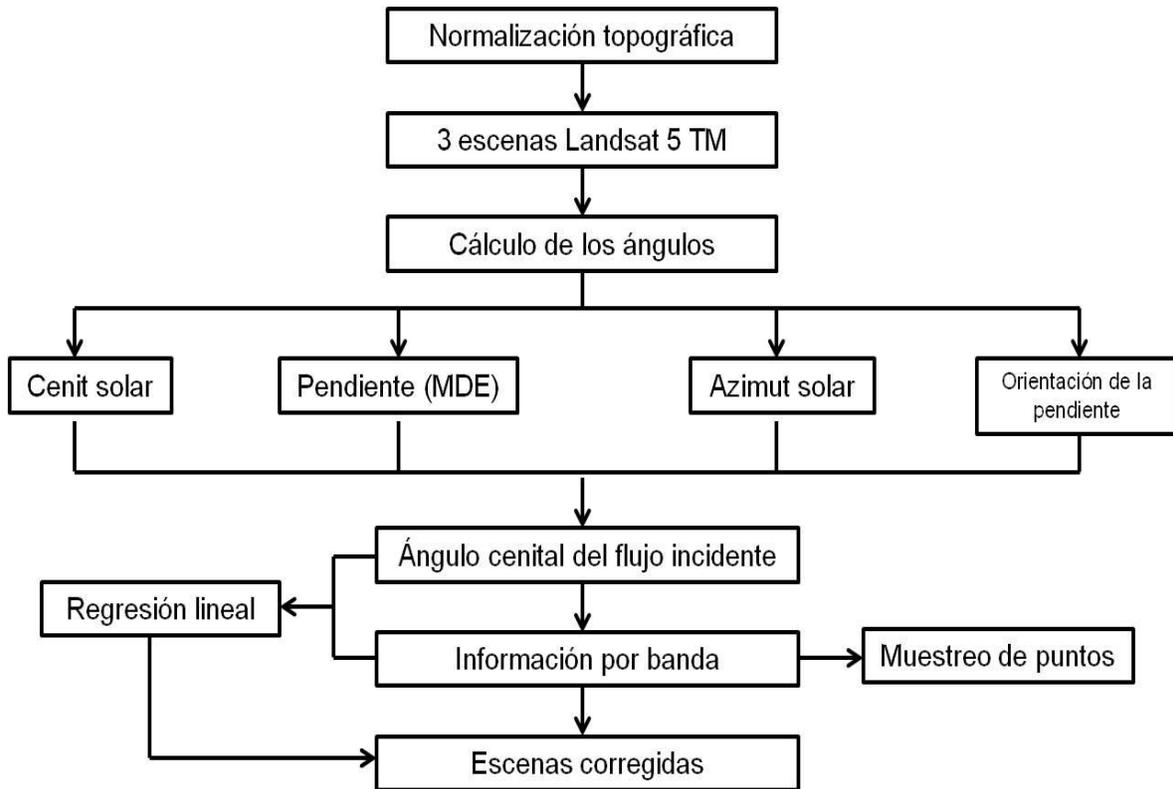


Figura 3. Procedimiento para realizar la normalización topográfica de las escenas Landsat 5 TM.

#### 5.4 Clasificación de cobertura terrestre de la región de La Montaña, Guerrero.

El análisis espacial se realizó en base a la clasificación de las tres escenas Landsat 5 TM mencionadas en el apartado 6.2.1.1. El esquema general de la clasificación se muestra en la Figura 4.

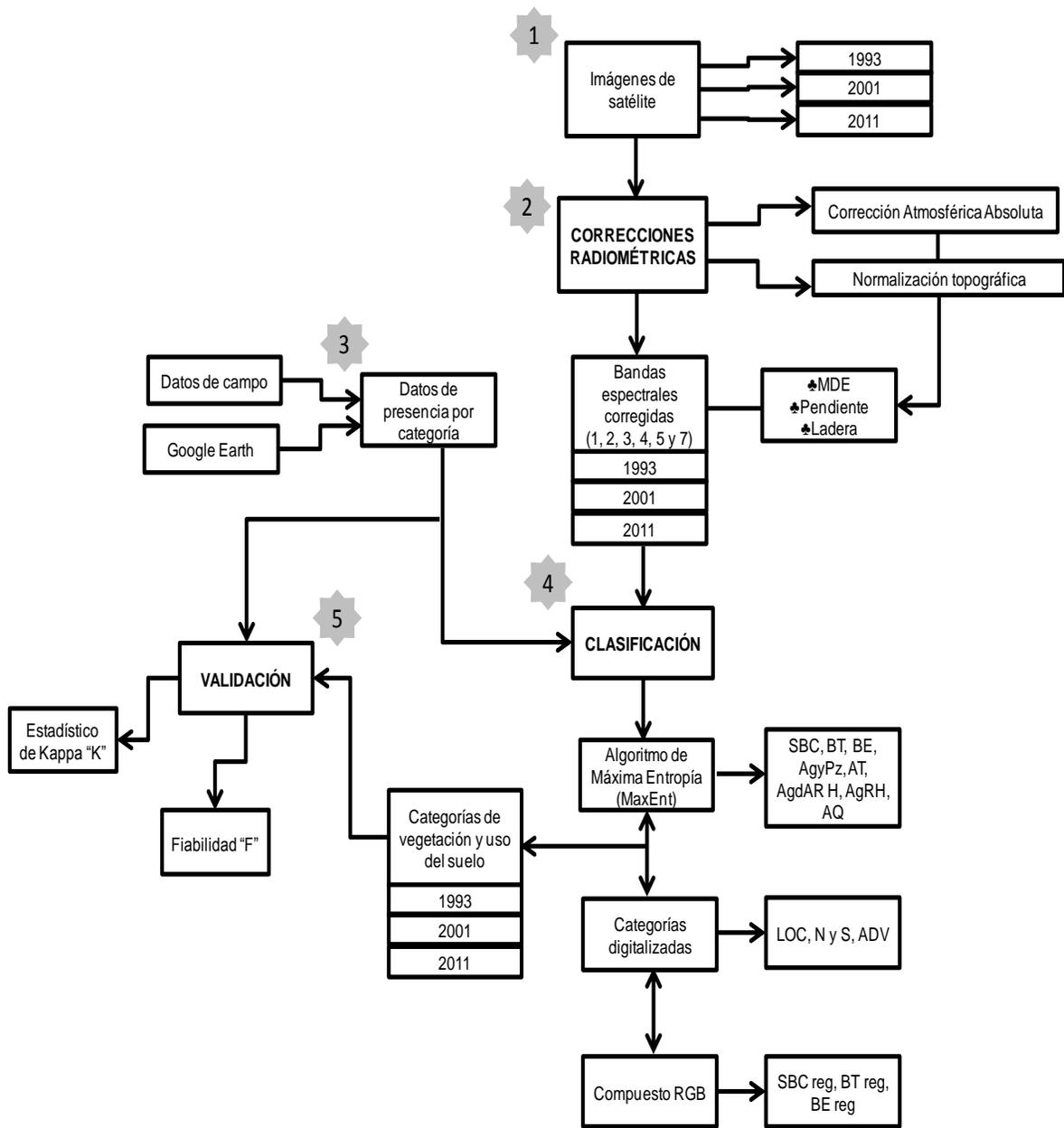


Figura 4. Procedimiento para realizar la clasificación de la cobertura terrestre de la región de La Montaña, en 1993, 2001 y 2011. MDE = Modelo Digital de Elevación, SBC = selva baja caducifolia, BT = bosques templados, BE = bosques de encino, Ag y Pz = agricultura y pastizales, AT = áreas de transición, AdAgRH = áreas en descanso de agricultura de riego o humedad, AgRH = agricultura de riego o humedad, AQ = áreas quemadas, LOC = localidades, N y S = nubes y sombras, ADV = áreas desprovistas de vegetación, SBC reg = selva baja caducifolia en regeneración, BT reg = bosques templados en regeneración, BE reg = bosques de encino en regeneración. Los números en las estrellas indican las etapas del procedimiento.

#### 5.4.1. Registros de presencia

Se realizó una capa de puntos para cada una de las coberturas terrestres clasificadas; selva baja caducifolia, bosques templados, bosque de encino, áreas de transición, áreas de inundación, áreas quemadas, agricultura de riego, agricultura y pastizales, mediante una interpretación visual de las tres imágenes de satélite, tomando como referencia el Inventario Nacional Forestal Serie III (SEMARNAT, 2001) y las imágenes observadas en el Google Earth. La categoría de bosques de encinos se separó de la categoría de bosques templados debido a que la utilización del MDE permitió hacer una distinción de este tipo de vegetación con respecto a los bosques templados.

Para cada una de las coberturas se realizó una malla con un total de 200 puntos, y cada uno de estos puntos debía presentar el mismo tipo de cobertura para las tres fechas analizadas, es decir que no se viera un cambio entre coberturas y usos de suelo de las tres escenas, con la finalidad de utilizar la misma capa de puntos para clasificar cada una de las categorías en las tres fechas de estudio.

Se hicieron pruebas con la clasificación variando el número de puntos, que fueron de 5%, 25%, 50% y 100% del total de 200 puntos. Se encontró que no había diferencias entre los valores de AUC (área bajo la curva; estadístico de ajuste que proporcionan los modelos generados en MaxEnt), por lo cual se optó por realizar todas las clasificaciones con el total de puntos generados. De la misma forma, se probó la diferencia entre tener puntos obtenidos de forma regular y puntos de presencia dirigidos. En este caso, funcionaron mejor los puntos dirigidos que los obtenidos de una malla regular de presencia y ausencia (Hernández-Cárdenas *et al.*, 2013).

#### 5.4.2 Clasificación con el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt)

El algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt) es un programa que modela la distribución potencial de las especies, utilizando sólo datos de presencia y variables ambientales (Phillips *et al.*, 2006). Elith *et al.*, (2011) lo describen como la caracterización de densidades de probabilidad en el espacio covariante.

De esta manera, MaxEnt utiliza los datos de covariables o variables ambientales ( $Z$ ) de los registros de presencia de una especie ( $1$ ) y las muestras de fondo (ausencias de la especie), para estimar la relación entre  $f_1(z) / f(z)$ , donde:

$f_1(z)$  = sitios de presencia de la especie

$f(z)$  = densidad de probabilidad de las covariables

De tal forma que se tiene un paisaje de interés que se denomina ( $L$ ), el cual está definido por el área geográfica de estudio. Las variables ambientales o covariables, son asociadas a los registros de presencia de la especie, obtenido de esta forma la densidad de probabilidad, es decir, la distribución de los valores de las covariables, en relación con los sitios de presencia y las muestras de fondo (ausencias), definiendo los sitios de presencia de la especie, de tal manera que las covariables son las variables explicatorias de la presencia de las especies.

MaxEnt minimiza la entropía relativa, la cual es una medida de la dispersión entre la densidad de probabilidades estimadas de los datos de presencia y la densidad de probabilidades estimadas en el paisaje, definida en un espacio de covariantes ambientales (Elith *et al.*, 2011).

Para realizar la clasificación de la cobertura vegetal y el uso del suelo utilizando el algoritmo MaxEnt, se utilizaron como registros de presencia las capas de puntos descritas en el apartado 6.3.1.1. Las covariables fueron cada una de las

bandas espectrales que conforman las tres imágenes de satélite (Hernández-Cárdenas *et al.*, 2013), correspondiente a 1993, 2001 y 2011, y variables topográficas como son el MDE, la pendiente y la orientación de la ladera. Este tipo de variables ayudaron a definir mejor la presencia de algunas coberturas, por ejemplo los bosques de encino, que gracias a la delimitación altitudinal se pudo separar de los bosques de coníferas.

#### *6.4.3 Clasificación de la vegetación en regeneración*

Para la clasificación de las categorías de vegetación en regeneración se utilizó el compuesto RGB realizado con las capas del NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) de 1993, 2001 y 2011.

Este compuesto permitió detectar las áreas que presentaron un cambio en su valor de NDVI, ya sea que este valor se incrementara, se mantuviera o disminuyera. Los incrementos se tomaron como regeneraciones, y las disminuciones como pérdidas de la vegetación. La clasificación generada en el MaxEnt ayudó a clasificar el tipo de vegetación en regeneración. Mediante el compuesto RGB se identificaron los cambios que se presentan en dos fechas (2001 y 2011) tomando como base una primer fecha (1993), por lo cual en la clasificación de 1993 no se pudieron distinguir las categorías de vegetación en regeneración.

##### *5.4.3.1 Cálculo del Índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI*

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se emplea para discriminar cubiertas vegetales, gracias a que la vegetación sana muestra un claro contraste en las bandas VIS (espectro visible, bandas azul, verde y especialmente la banda roja 0.63 a 0.69  $\mu\text{m}$ ) y el IRC (infrarrojo cercano, bandas 4 y 5 de 0.76 a 1.75  $\mu\text{m}$ ). Mientras en el VIS los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, estas sustancias apenas afectan al IRC. Por esta razón se

produce un notable contraste espectral entre la baja reflectividad de la banda 3 (roja) del espectro y la IRC, lo que permite separar, con relativa claridad, la vegetación sana de otras cubiertas (Chuvienco, 2002).

El NDVI es un indicador del vigor vegetal, por lo cual ha sido utilizado para evaluar la degradación en los ecosistemas vegetales, reflejada en una disminución en el NDVI. Las disminuciones pueden ser un indicador de degradación o deforestación según su cantidad absoluta de cambio y su valor inicial, es decir, que se considera deforestación si la disminución es lo suficientemente importante para que quede fuera del umbral de bosque en el siguiente año y se clasifica como degradación si la disminución no es tan grande para que salga del umbral de esta categoría. Los aumentos pueden estar relacionados con un incremento natural del ecosistema o con una recuperación de áreas con disturbios (Menesses, 2009).

El NDVI es una medida de la fracción fotosintéticamente activa de la cobertura vegetal existente en un pixel de información, y a pesar de ser ampliamente utilizado, su valor puede ser influenciado por el ciclo fenológico de la vegetación o por factores ambientales que influyen en el momento de la toma de la imagen (Huete, 1999).

El cálculo del NDVI se realizó para las fechas de 1993, 2001 y 2011, en el SIG ArcInfo 9.1, utilizando la siguiente fórmula para imágenes Landsat 5 TM:

**Fórmula (4):**

$$NDVI_{TM} = \frac{ND_{IRC} - ND_R}{ND_{IRC} + ND_R}$$

#### 5.4.3.2 Compuesto RGB

Con las imágenes resultantes del cálculo del NDVI se elaboró un compuesto RGB (Red, Green and Blue), siguiendo la secuencia temporal de las imágenes 1993: Red, 2001: Green y 2011: Blue.

Este compuesto permitió distinguir tres procesos importantes en base a los cambios o permanencias de los valores de NDVI durante las tres fechas analizadas; áreas sin cambio en los valores de NDVI ya sea bajos (atribuidos a áreas desprovistas de vegetación o con poca vegetación como cultivos y pastizales) o altos (vegetación vigorosa en las tres fechas analizadas), áreas en regeneración y áreas de aclareo (pérdidas de la cobertura forestal).

También fue posible identificar el periodo aproximado en el que se presentaron los cambios, ya sea en el sentido de las pérdidas o las regeneraciones, gracias a la comparación entre fechas, por ejemplo; si durante la primera fecha analizada (1993) se obtuvo en un área determinada un valor de NDVI bajo, y durante las fechas posteriores (2001 y 2011) se registró un valor alto, entonces se considera como área en regeneración mayor a diez años. Esto implica la definición de ocho categorías, que permiten detectar los cambios anteriormente mencionados.

El compuesto en RGB se clasificó de forma no supervisada con el algoritmo iterativo de ISODATA, en el software ERDAS 9.0, obteniendo 50 clases, las cuales fueron reclasificadas en 8 clases mediante estadísticas zonales, con las cuales se calcularon los promedios totales y desviaciones estándar (por imagen), y los promedios y desviaciones estándar por clase (SEMARNAT-INE, 2008), siguiendo como criterio diferencias de 0.5 desviaciones estándar respecto de la media. Valores mayores a 0.5 desviaciones estándar de la media se consideraron como altos (Hayes *et al.*, 2002). Los procesos identificados a partir del RGB se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Categorías obtenidas a partir del RGB por proceso y fecha. Colores o números asignados al falso color en RGB (modificado de SEMARNAT-INE, 2008).

Proceso por fecha	Asignación numérica	Desviación estándar	Valor NDVI	Valor NDVI	Valor NDVI	Asignación de color
			1993	2001	2011	
Sin cambio de 01, regeneración a 11	2	-1.0	↓	↓	↑	
Regeneración de 01, regeneración a 11	3	-0.5	↓	↑	↑	
Regeneración de 01, y aclareo a 11	4	0	↓	↑	↓	
Aclareo de 01, sin cambio a 11	5	+0.5	↑	↓	↓	
Aclareo de 01, regeneración a 11	6	+1.0	↑	↓	↑	
Sin cambio de 01, aclareo a 11	7	+1.5	↑	↑	↓	
Sin cambio, Alto NDVI	8	+2.0	↑	↑	↑	
Sin cambio, bajo NDVI	1	-1.5	↓	↓	↓	

La categoría sin cambio expresa que los valores de NDVI no muestran cambios importantes en las tres fechas comparadas. La regeneración significa que los valores del índice de vegetación aumentan de una fecha a otra. Las causas que producen la regeneración son múltiples, una puede adjudicarse a fenómenos que perturbaron fuertemente relacionados a la cobertura vegetal y esta muestra una fuerte respuesta a recuperar la condición previa a la presencia del evento. El aclareo se produce cuando la cobertura vegetal es sustituida por pastos o cultivos de cualquier índole o por deforestación (Hayes *et al.*, 2002; SEMARNAT-INE, 2008). Este procedimiento sirvió para identificar la vegetación en regeneración, y la clasificación con el algoritmo de MaxEnt se utilizó para definir el tipo de de vegetación (ej. Bosques templados, bosques de encino) (Figura 5).

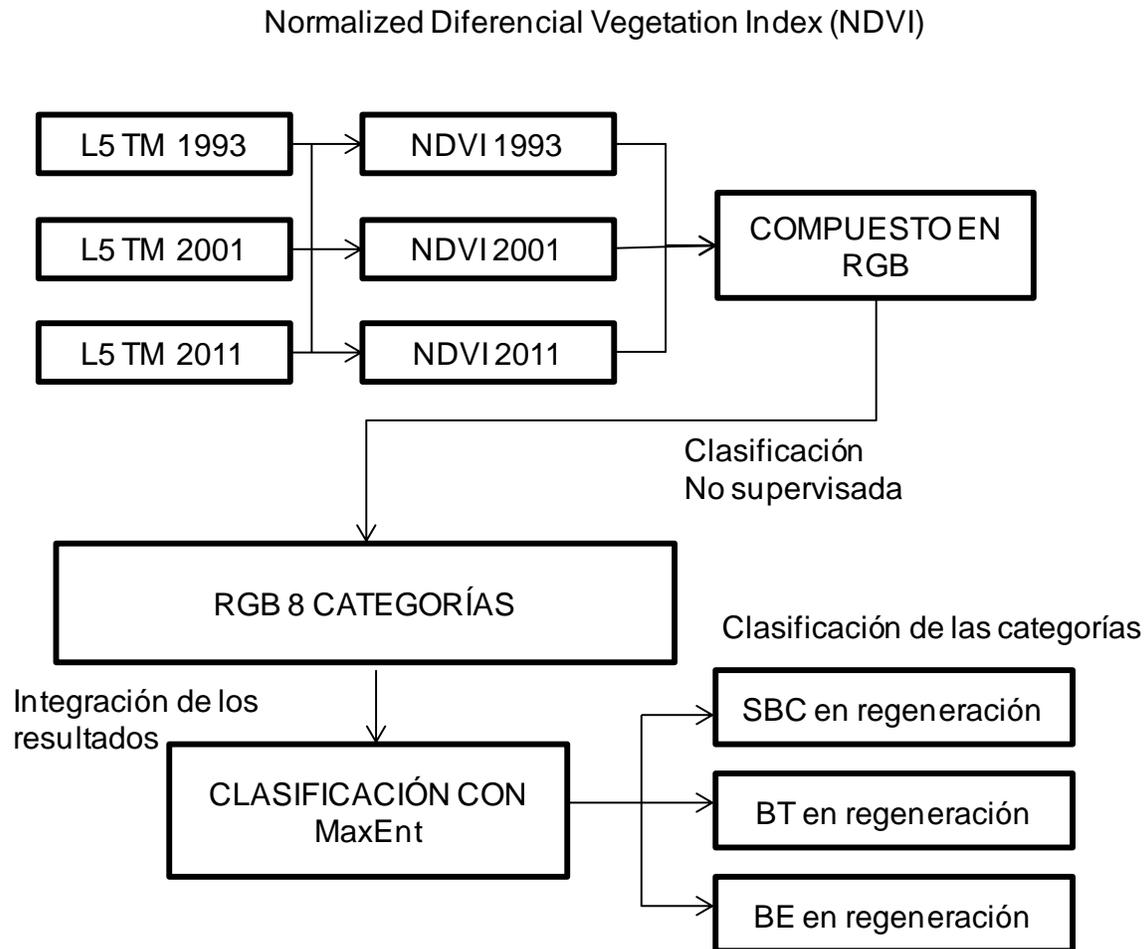


Figura 5. Procedimiento para identificar las categorías de vegetación en regeneración.

## 5.5 Digitalización de capas de información de La Montaña de Guerrero

### 5.5.1 Localidades

La capa de información de localidades para el año 2011 se generó mediante la digitalización de las localidades observadas en el Google Earth. Las fechas de las imágenes utilizadas para realizar la digitalización se muestran en el Cuadro 3. Para realizar las capas de información de los localidades de 1993 y 2001 se utilizó como guía la capa generada para 2011, con la finalidad de ubicar estas áreas en las imágenes Landsat de 1993 y 2001 con mejor precisión, y realizando una interpretación visual sobre dichas imágenes se digitalizaron las localidades.

Cuadro 3. Imágenes utilizadas como base para digitalizar las localidades

<b>Tipo</b>	<b>Día</b>	<b>Mes</b>	<b>Año</b>
GeoEye	18	Noviembre	2004
GeoEye	28	Octubre	2005
GeoEye	26	Febrero	2006
GeoEye	16	Marzo	2010
GeoEye	24	Mayo	2010
GeoEye	30	Octubre	2010
GeoEye	13	Noviembre	2010
GeoEye	18	Noviembre	2010
GeoEye	13	Abril	2011
GeoEye	13	Abril	2011

### 5.5.2 Nubes y sombras

Las imágenes Landsat de 2001 y 2011 presentaron una notable cobertura de nubes y sombras de nubes, principalmente la imagen de 2001. Al ser clasificadas las áreas cubiertas por nubes con otro tipo de cobertura se procedió a su digitalización para corregir la clasificación.

Una vez digitalizadas las capas en el Google Earth fueron transformadas de formato kml a shp en el programa ArcView 3.2. Posteriormente se transformaron a formato ráster, al igual que las nubes y sombras, fueron adicionadas a la clasificación en el programa ArcMap 9.1.

## 5.6 Validación de la clasificación 2011

Una vez obtenidos los resultados de cualquier tipo de interpretación digital de imágenes de satélite, es necesario realizar una validación del método y del producto generado. El proceso de verificación, requiere que se comparen los resultados con una fuente externa de datos, que representen la realidad del terreno en el momento de la toma de la imagen. Para esto, se necesitan técnicas de muestreo que permitan estimar con la mayor exactitud y al menor costo posible, el error que contienen los resultados obtenidos (Chuvienco, 2002).

Debido a la dificultad de obtener datos históricos, la validación se hizo únicamente para la clasificación más reciente (2011). Para esto se realizó una malla regular equidistante a 2 km entre punto y punto, obteniendo un total de 576 puntos, con el software Quantum-Gis (Q-GIS) v.1.8.0. Se optó por usar una malla regular (muestreo sistemático) para garantizar un muestreo completo de toda el área de estudio.

Los puntos se usaron como base para realizar el muestreo de campo, Sin embargo,, debido a la inaccesibilidad de la zona, solo se pudieron hacer 45 puntos. Los recorridos en campo se realizaron del 12 al 15 de Julio del año 2012. La malla de puntos se cargó en el GPS, y fue utilizada como guía para llegar al sitio indicado. La precisión para considerar que se llegó al punto fue de 30m, debido a que es la resolución espacial de las imágenes utilizadas.

Para obtener los datos de los restantes puntos de la malla, se utilizó el programa Google Earth, donde se exportaron a formato kml los archivos vectoriales de los puntos y el límite de la región de La Montaña. El uso del Google Earth para la verificación de clasificaciones ha sido recomendado por Hyman *et al.* (2011) con resultados satisfactorios.

Con base a lo observado en el programa y tomando como referencia el mapa del Inventario Nacional Forestal del año 2000, se les asignó un valor numérico a los puntos de acuerdo a los tipos de vegetación o usos del suelo observados. La resolución espacial de las imágenes del Google Earth es de 1 m, por lo que los resultados son confiables. La evaluación se hizo con una matriz de confusión, a partir de la cual se obtuvo el índice de Kappa “k” (fórmula 5) y la fiabilidad “F” (fórmula 6).

### 5.6.1 Índice de kappa

Kappa es un índice de concordancia que mide la diferencia entre el mapa clasificado y el que cabría esperar por el azar, delimitando el grado de ajuste, debido sólo a la exactitud de la clasificación. En resumen este índice evalúa si la clasificación ha discriminado las categorías de interés con exactitud significativamente mayor a la que se hubiera obtenido con una asignación aleatoria (Chuvieco, 2002). Un valor de kappa igual a 1 indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, mientras un valor cercano a 0 sugiere que la clasificación obtenida es producto del azar.

#### **Fórmula (5):**

$$\tilde{k} = ( n \sum_{i=1,n} X_{ii} - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i} ) / ( n^2 - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i} )$$

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra

$X_{ii}$  = Diagonal de la matriz (acuerdo observado)

$X_{i+}$  = Sumatoria total de las filas de la matriz

$X_{+i}$  = Sumatoria total de las columnas de la matriz

$X_{i+} X_{+i}$  = Acuerdo esperado entre las filas y las columnas de la matriz

### 5.6.2 Fiabilidad

El valor de F indica la fiabilidad (grado de precisión) del mapa obtenido, relacionando los elementos de la diagonal de la matriz de confusión con el total de puntos muestreados.

#### **Fórmula (6):**

$$\checkmark F = (\sum_{i=1,n} X_{ii}) / (\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} X_{ij})$$

Donde:

$\sum_{i=1,n} X_{ii}$  = sumatoria de los valores de la diagonal de la matriz

$\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} X_{ij}$  = sumatoria de los valores de las marginales de la matriz

### 5.7 Tasa de cambio de las coberturas vegetales y el uso del suelo

La tasa de cambio otorga información básica del promedio de la velocidad a la cual algún tipo de cobertura se transforma. Esta tasa se expresa en porcentaje de cambio del área por año, y fue calculada para cada categoría de cobertura terrestre clasificada entre periodos (de 1993 a 2001 y de 2001 a 2011). Para el cálculo de las tasas de cambio para las categorías de vegetación y uso de suelo se utilizó la fórmula propuesta por FAO (1995):

#### **Fórmula (7)**

$$(((A_2 / A_1) ^ (1/t)) -1) * 100$$

Donde:

$A_1$  = Área por categoría en el tiempo 1

$A_2$  = Área por categoría en el tiempo 2

t= periodo de tiempo entre  $A_1$  y  $A_2$

### 5.8 Fragmentación de la selva baja caducifolia

El análisis espacial de fragmentación de la SBC se realizó a través de un análisis de vecindarios sobre los mapas binarios de selva (1), no selva (0), en donde se estima la cantidad y continuidad de selva (Figura 7) mediante la utilización del modelo de fragmentación propuesto por Riitters *et al.*, (2000), formalizado por Mora (2005) y modificado por López de Olmos (2013; comunicación personal)

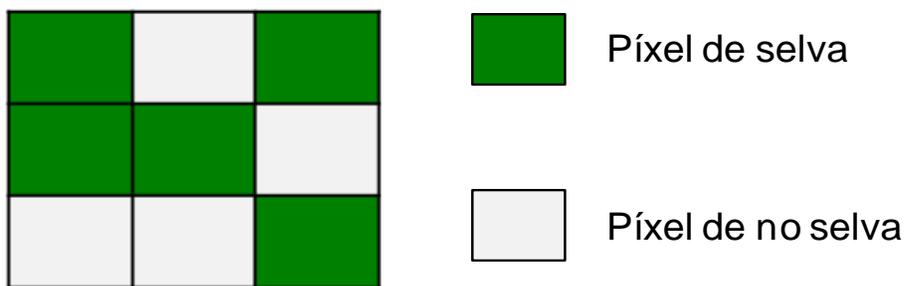


Figura 6. Aplicación del análisis espacial para el cálculo de la cantidad de selva ( $P_f$ ) y su continuidad ( $P_{ff}$ ). SBC = selva baja caducifolia.

La cantidad de arbolado ( $P_f$ ) se estimó a través del cálculo de proporción del área cubierta con píxeles que pertenecen a la categoría de selva, en relación con una ventana de análisis de 3 x 3 píxeles (Fórmula 8). La continuidad de bosque ( $P_{ff}$ ) se calcula como la probabilidad de adyacencia, dado un píxel arbolado y que sus vecinos también sean arbolados (fórmula 9). El algoritmo del modelo de fragmentación de Riitters *et al.*, (2002) se aplicó en el programa ArcInfo 9.1.

#### Fórmula (8)

$$P_f = \frac{\text{\# de píxeles de la categoría SBC}}{\text{\# total de píxeles en la ventana}}$$

### Fórmula (9)

$$Pff = \frac{\text{\# de pares de SBC}}{\text{\# de pares al menos 1 píxel de SBC}}$$

Donde:

$Pf$  = Cantidad de arbolado (densidad)

$Pff$  = Continuidad de bosque (adyacencia)

La combinación de las medidas de la cantidad de arbolado ( $Pf$ ) y adyacencia ( $Pff$ ) da como resultado la identificación de cinco categorías de fragmentación al establecer los siguientes valores umbrales (Figura 8):

- Bosque interior:  $Pf = 1.0$
- Parches:  $Pf < 0.4$
- Zona de transición:  $0.4 < Pf < 0.6$
- Borde:  $Pf > 0.6$  y  $Pf - Pff > 0$
- Perforado:  $Pf > 0.6$  y  $Pf - Pff < 0$

Cuando  $Pf$  es mayor que  $Pff$ , el arbolado está agrupado. Por el contrario cuando  $Pff$  es menor que  $Pf$  todo lo no arbolado está agrupado. La diferencia ( $Pf - Pff$ ) puede referirse a un gradiente arbolado denominado borde y a un área agrupada no arbolada denominada perforada.

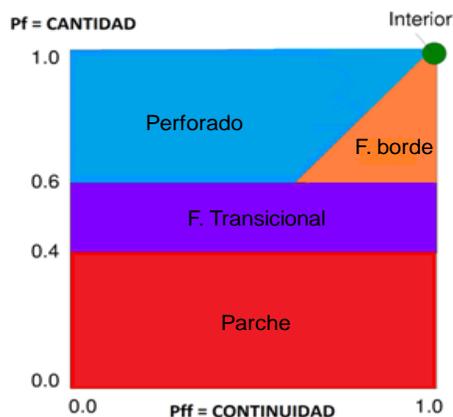


Figura 7. Modelo utilizado para identificar las categorías de fragmentación (tomado de Riitters *et al.*, 2000). F = fragmentación.

## 5.9 Análisis de los factores causales de cambio

### 5.9.1 Obtención de los datos

Para comprender cuáles son los principales factores relacionados con los procesos de cambio en la zona de estudio, se recopilaron datos socioeconómicos y culturales a nivel municipal. Estos datos fueron obtenidos de los Censos de Población y Vivienda del INEGI (INEGI, 2000; 2010) de SAGARPA (2005; 2011b), CONAPO (2005; 2010) y del mapa base del estado de Guerrero CONABIO (2006).

Debido a las diferencias de los datos tomados entre los Censos de Población y Vivienda de 1995, 2000 y 2010, para este análisis sólo se utilizaron los datos del año 2000 (INEGI, 2000) y de 2010 (INEGI, 2010), descartando los datos del censo de 1995 debido a la poca información que proporcionaron. Se compararon los datos del censo del año 2000 con los datos obtenidos del análisis espacial del año 2001, y los datos del censo 2010 con los resultados espaciales del año 2011.

Fueron seleccionadas 20 variables independientes (de predicción) para el análisis, las cuales se clasificaron en siete categorías; económicos, demográficos,

culturales, políticos e institucionales, biofísicos, de infraestructura y de educación. Como variables de respuesta se utilizaron las superficies de algunas categorías obtenidas a partir del análisis espacial (Cuadro 4).

Cuadro 4. Descripción de las variables utilizadas a nivel municipal

CATEGORÍA	VARIABLES	DESCRIPCIÓN	FUENTE DE INFORMACIÓN
<b>DEPENDIENTES</b>	Superficie de agricultura y pastizales		Elaboración propia
	Superficie de selva baja caducifolia		Elaboración propia
	Superficie de selva interior		Elaboración propia
<b>INDEPENDIENTES</b>			
<b>Económicas</b>	Índice de Marginación		CONAPO (2005; 2010)
	Población por cantidad de salario		INEGI (2005; 2010)
	Población por tipo de ocupación		INEGI (2005; 2010)
<b>Demográficas</b>	Población total		INEGI (2005; 2010)
	Densidad poblacional		Elaboración propia a partir de datos de INEGI (2005; 2010)
	Población por sexo		INEGI (2005; 2010)
	Estructura de edades		INEGI (2005; 2010)
<b>Culturales</b>	Población que habla español		INEGI (2005; 2010)
	Población que habla lengua indígena		INEGI (2005; 2010)
	Población que habla español y lengua indígena		INEGI (2005; 2010)
<b>Políticas e institucionales</b>	Cantidad de subsidios económicos por parte de PROCAMPO		SAGARPA (2005; 2011)
<b>Biofísicos</b>	Cercanía a cuerpos de agua		Elaboración propia a partir de datos de CONABIO (2006)
	Altitud		Elaboración propia a partir de datos de CGIAR-CSI (2011)
<b>Infraestructura</b>	Cercanía a carreteras federales		Elaboración propia Elaboración propia a partir de datos de CONABIO (2006)
	Cercanía a caminos rurales		Elaboración propia a partir de datos de CONABIO (2006) y Google Earth (2011)
	Cercanía a poblados		Elaboración propia
<b>Educación</b>	Escolaridad		INEGI (2010)
	Población que sabe leer		INEGI (2005; 2010)
	Población que no sabe leer		INEGI (2005; 2010)

La elección de estas variables se basó en los trabajos realizados en la región donde se señalan algunos de los factores más importantes para la pérdida de la cobertura forestal y de la disponibilidad de información

### 5.9.2 Regresión lineal simple

El análisis de regresión lineal simple provee información necesaria para estimar los valores de una variable de respuesta (dependiente) cuando está presente una variable de predicción (independiente), y de esta manera establecer si existe una relación entre ellas (Wong y Lee, 2001). En el caso de este trabajo, el propósito fue establecer si algunos factores socioeconómicos, biofísicos y de infraestructura inciden en los cambios observados en la dinámica del paisaje de La Montaña de Guerrero.

El análisis de regresión lineal simple (Fórmula 10) se realizó en el programa NCSS, LLC, donde también se obtuvieron los valores de correlación, el coeficiente de determinación  $R^2$  (Fórmula 11) y el nivel de probabilidad  $P$ .

#### **Fórmula (10)**

$$y = a + bx$$

donde:

$y$  = Variable dependiente o de respuesta

$x$  = Variable independiente o de predicción

$a$  = Intercepción, o el valor de la variable dependiente ( $y$ ) cuando la variable independiente ( $x$ ) tiene un valor de cero

$b$  = Pendiente de la línea de tendencia o la tangente del ángulo entre el eje de  $x$  y la línea de tendencia. Representa la tasa de cambio de la variable dependiente por unidad de cambio de la variable independiente.

El coeficiente de determinación se utiliza para establecer el poder predictivo del modelo de regresión para el fenómeno de estudio. Representa una tasa entre la varianza de los valores predichos ( $\hat{y}$ ) y la varianza observada de los valores de respuesta ( $y$ ) (Wong y Lee, 2001) y se calcula como:

**Fórmula (11):**

$$r^2 = S^2 \hat{y} / S^2 y$$

donde:

$S^2 \hat{y}$  = Es la varianza de los valores predichos de  $y$  o varianza de la regresión

$S^2 y$  = Es la varianza observada de los valores de  $y$  o varianza total

Para que el modelo fuera significativo  $p$  debió ser menor a 0.05;  $p < 0.05$  (Siegel y Castella, 1988; Wong y Lee, 2001).

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Clasificación de la cobertura terrestre de la región de La Montaña de Guerrero

Se identificaron 16 categorías de coberturas terrestres para la región de La Montaña de Guerrero. Estas categorías se describen a continuación:

*Selva baja caducifolia (SBC)* es un tipo de vegetación de clima cálido que está dominado por árboles que pierden sus hojas en la época seca del año durante un lapso variable, pero que por lo general oscila alrededor de seis meses (Rzedowski, 1988).

*Bosques templados* son aquellos que se encuentran en zonas de clima templado y semihúmedo, que cubren las áreas montañosas de México. Dentro de estas asociaciones se encuentran los bosques de pino, bosques de pino-encino, bosque mesófilo de montaña y los bosques de *Quercus*, los cuales en el presente trabajo fueron separados del resto de los bosques templados (Rzedowski, 1988).

*Bosques de encino o Quercus* son comunidades vegetales muy características de las zonas montañosas de México, en conjunto con los pinares, constituyen la mayor parte de la cubierta vegetal de áreas de clima templado y semihúmedo (Rzedowski, 1988). En el presente trabajo se distinguen los bosques de encino del resto de los bosques templados gracias al criterio de altitud que delimita su distribución, el cual es de 1200 y 2800 m.

*Áreas de transición* son los ecotonos entre la selva baja caducifolia y algún otro tipo de cobertura forestal, las cuales son comunes en la región de estudio.

La *agricultura y los pastizales* incluyen principalmente la agricultura de temporal, es decir, tipo de agricultura de aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, sea

independiente del tiempo que dura el cultivo en el suelo y sin considerar los cultivos de árboles frutales (INEGI, 2005). Los pastizales pueden ser los introducidos para el ganado así como el tipo de vegetación que se presentan en las primeras etapas de sucesión ecológica.

La *agricultura de riego* puede ser permanente o eventual, dependiendo de la disponibilidad de agua para el riego. La *agricultura de humedad* es la de aquellos terrenos que se cultivan antes o después de la temporada de lluvias, aprovechando la humedad del suelo, e incluye a los terrenos de zonas inundables o materiales amorfos que retienen agua y que aún en periodo de sequía presentan humedad, o bien aquellos que después de la temporada de lluvias soportan cultivos que desarrollan todo su ciclo (INEGI, 2005).

Las *áreas en descanso de la agricultura de riego o humedad* son aquellas áreas reservadas para ese uso que no estaban cultivadas al momento de la toma de la imagen.

La *agricultura de tlacolol* es un tipo de técnica agrícola que se efectúa principalmente en terrenos con laderas fuertes donde se utiliza el fuego, siendo muy similar a la agricultura de roza-tumba-quema. Este sistema permite la rápida regeneración de la vegetación (Toledo *et al.*, 1992; Carabias *et al.*, 1995).

Áreas desprovistas de vegetación son aquellas zonas que no tienen vegetación o que esta no es aparente (INEGI, 2005).

En el Cuadro 5 se muestran las categorías de cobertura terrestre clasificadas. Las categorías de vegetación en regeneración no fueron clasificadas para el año de 1993 debido a la metodología empleada para la identificación de las áreas en regeneración (ver apartado 6.4.3). La categoría de nubes y sombras de nubes tampoco se presentó en 1993.

**Cuadro 5.** Categorías de cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero. Las categorías que tienen el \* se clasificaron únicamente en las fechas de 2001 y 2011.

<b>AGRUPACIÓN</b>	<b>CATEGORÍA</b>
Vegetación Forestal	<ul style="list-style-type: none"> <li>♣ Selva baja caducifolia</li> <li>♣ Bosques templados</li> <li>♣ Bosques de encino</li> <li>♣ Áreas de transición</li> </ul>
Vegetación Forestal en regeneración	<ul style="list-style-type: none"> <li>♣ Selva baja caducifolia en regeneración*</li> <li>♣ Bosques templados en regeneración *</li> <li>♣ Bosques de encino en regeneración *</li> <li>♣ Áreas de transición en regeneración *</li> </ul>
Actividades agropecuarias	<ul style="list-style-type: none"> <li>♣ Agricultura y Pastizales</li> <li>♣ Agricultura de riego o humedad</li> <li>♣ Áreas en descanso de agricultura de riego o humedad</li> <li>♣ Agricultura de Tlacolol *</li> </ul>
Asentamiento urbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>♣ Poblados</li> </ul>
Áreas desprovistas de vegetación	<ul style="list-style-type: none"> <li>♣ Áreas desprovistas de vegetación</li> </ul>
Otras	<ul style="list-style-type: none"> <li>♣ Áreas quemadas</li> <li>♣ Nubes y Sombras de nubes *</li> </ul>

### 6.1.1 Mapa de cobertura terrestre de 1993

Para el año de 1993 se identificaron diez categorías de vegetación y uso del suelo (Figura 8). La principal cobertura de la zona cálida de la región es la SBC, que en ese año cubría una extensión de 84,942.45 ha, lo que representa un 36.52% del total de la región. La segunda categoría con mayor superficie fue la agricultura y los pastizales, con un 31.13% de la superficie total de la región, su extensión fue de 72,405.54 ha.

#### Vegetación y uso del suelo de La Montaña de Guerrero en 1993

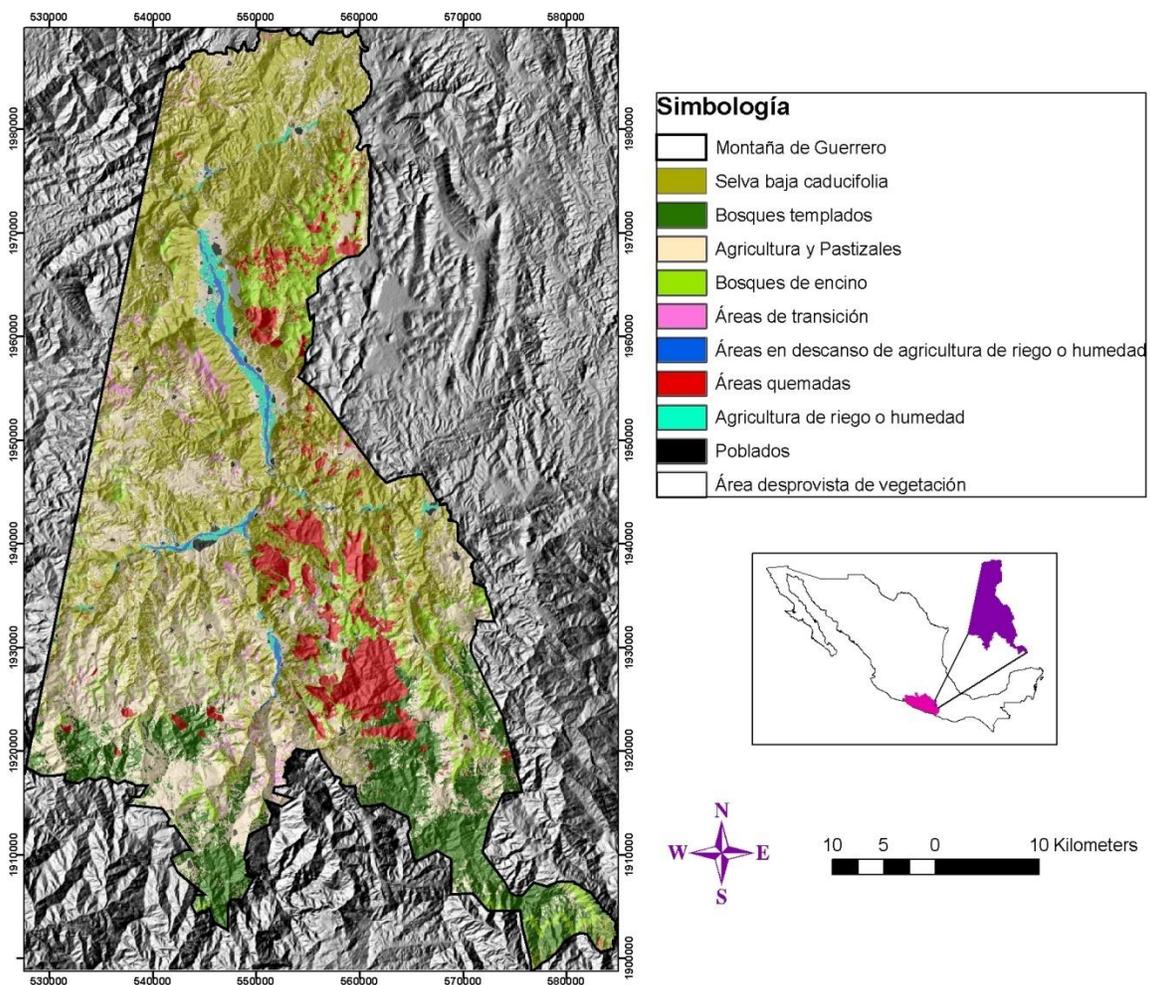
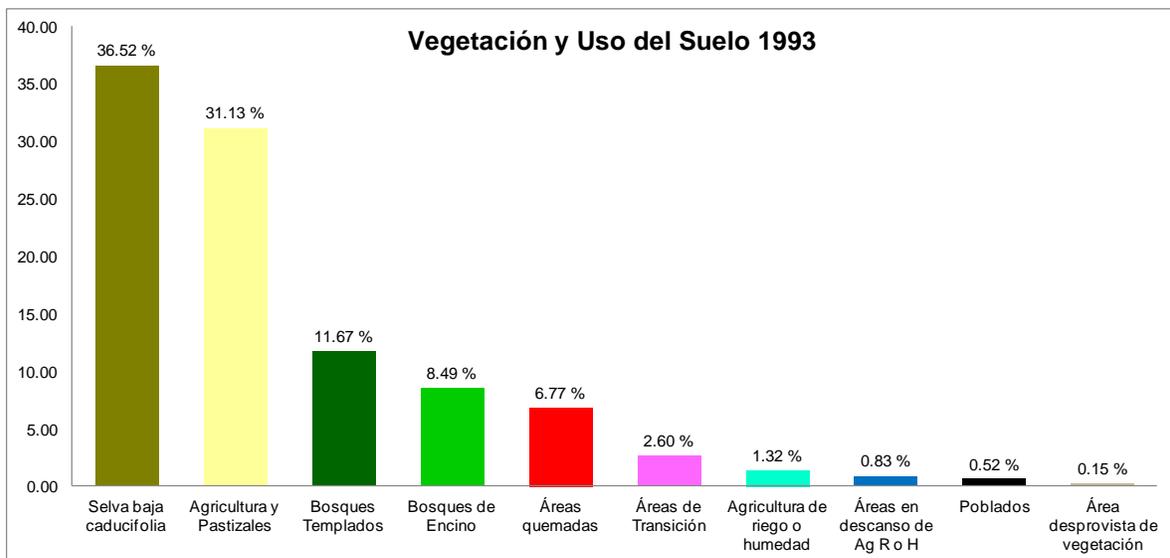


Figura 8. Mapa de cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero en 1993.

De las tres fechas analizadas, 1993 fue el año en el que se presentó mayor superficie quemada, 15,736.23 ha, es decir 6.77% de la superficie total analizada (Figura 9). La mayor parte de estas quemas fueron en los bosques templados y en los bosques de encino, presentándose en menor proporción en la SBC.

En las fechas posteriores, se presentaron regeneraciones de la vegetación en la mayor parte de estas zonas, mientras que las áreas restantes o bien volvieron a presentarse con quemas o fueron clasificadas como áreas de agricultura y pastizales.

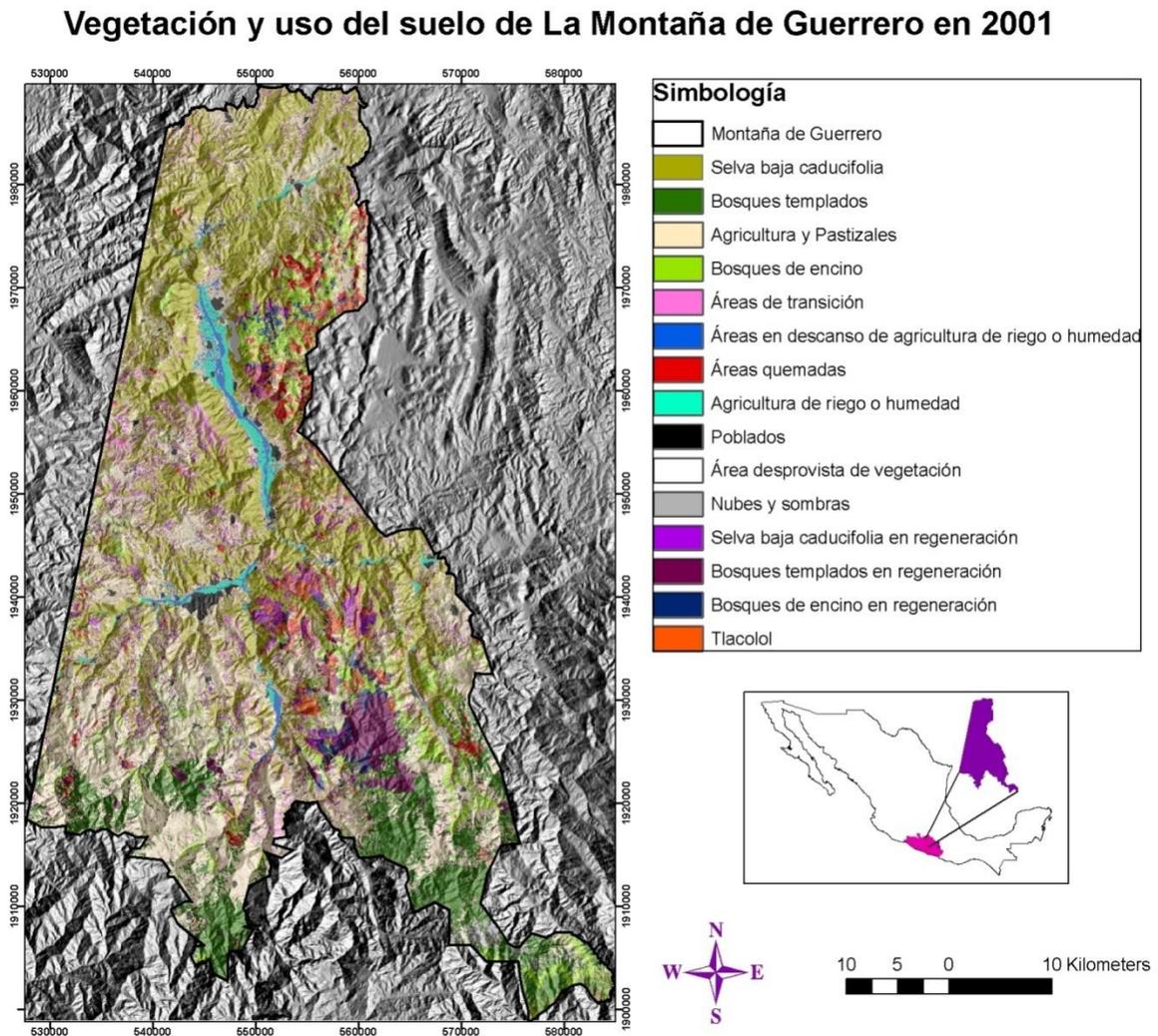
En las zonas de agricultura de riego o humedad, se encuentra una amplia proporción de cultivos de árboles frutales, pero también se cultivan otros productos de ciclo corto (Carabias *et al.*, 1994). Este tipo de agricultura cubría el 1.32% de la región, con un total de 3065.85 ha, cuyas mayores proporciones se encuentran en el municipio de Huamuxtlán, en las partes planas de la región.



**Figura 9.** Porcentaje de la cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero en 1993.

### 6.1.2 Mapa de cobertura terrestre de 2001

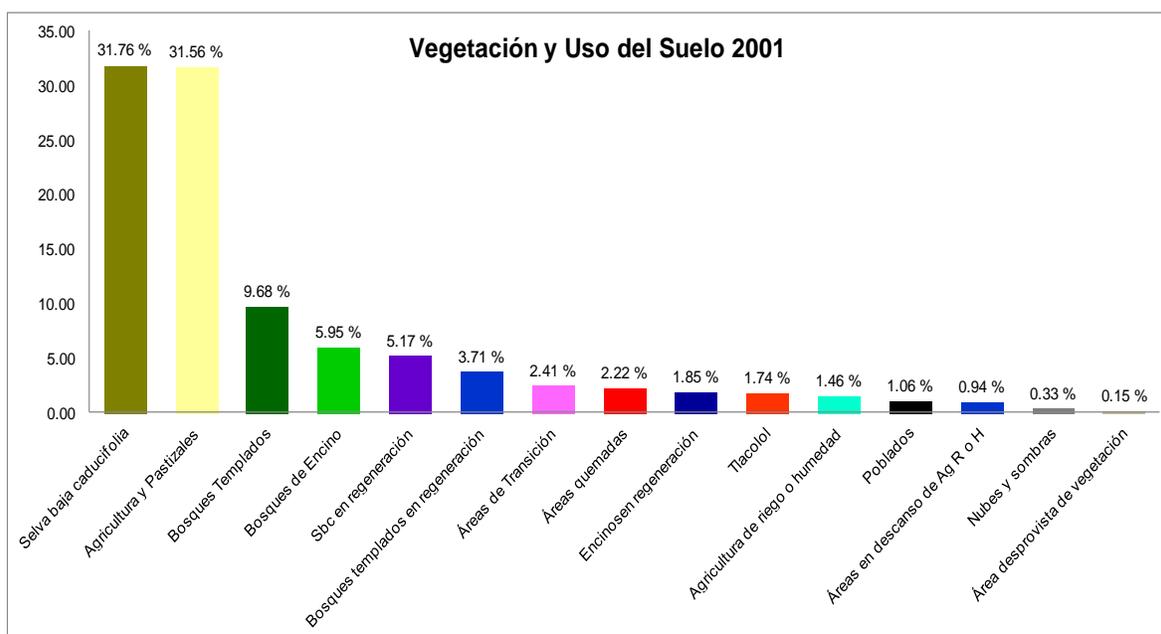
Para el año 2001 se clasificaron 15 categorías, dentro de las cuales se encuentra la identificación de tres tipos de vegetación en regeneración; SBC, bosques templados y bosques de encino. De estas tres categorías, la SBC en regeneración fue la que tuvo una mayor superficie (Figura 10).



**Figura 10.** Mapa de vegetación y uso del suelo de La Montaña de Guerrero en 2001.

La SBC siguió siendo la categoría con mayor superficie, ocupando 73,862.28 ha (31.74%). La agricultura y los pastizales cubrían el 31.56% de la región, su extensión era de 73,402.11 ha (Figura 11).

Por su parte las áreas quemadas disminuyeron a 2.22%, ocuparon una superficie de 5163.21 ha. Se presentaron principalmente en el municipio de Xochihuehuetlán, cuya vegetación dominante eran los bosques de encino.

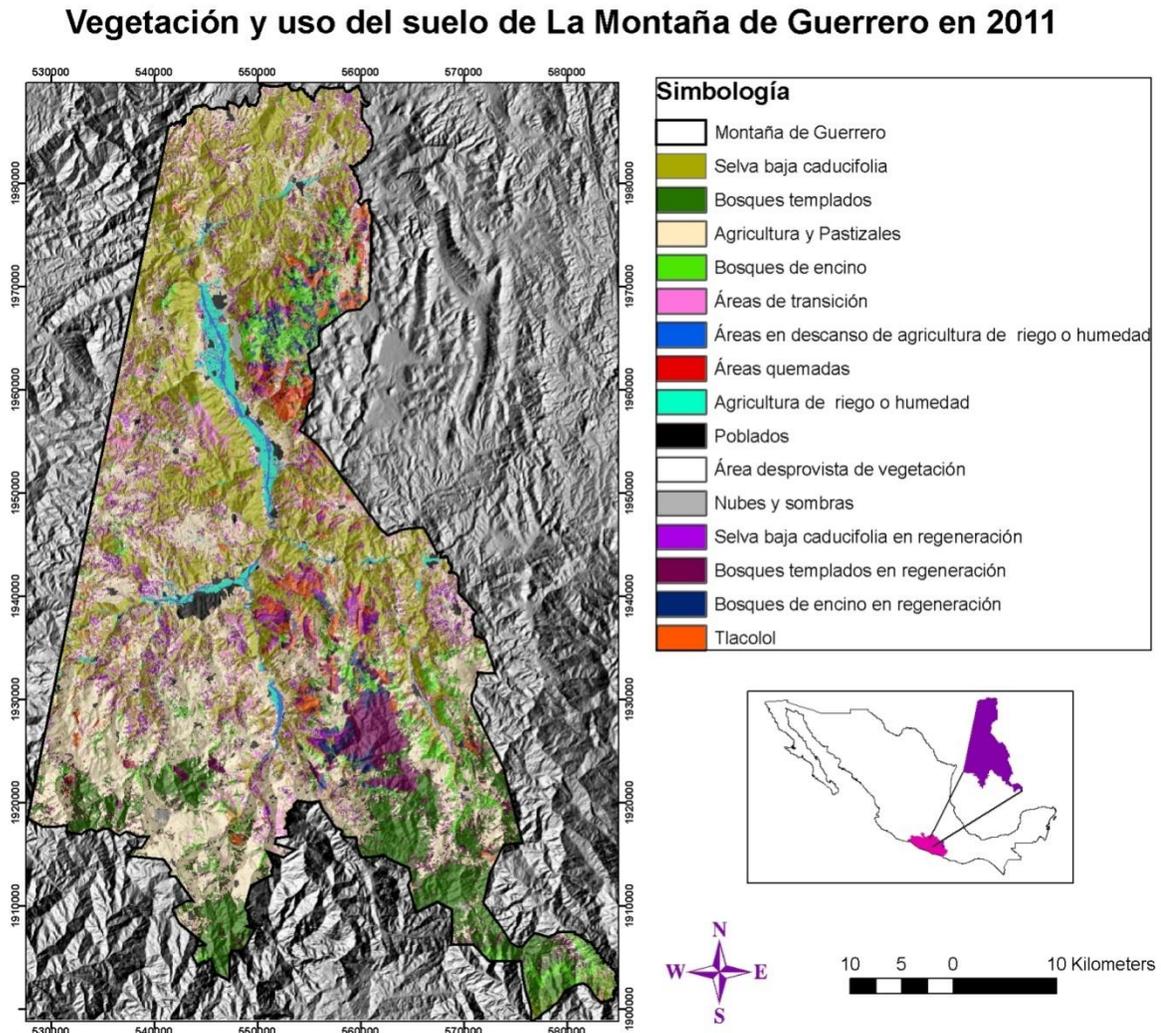


**Figura 11.** Porcentaje de la superficie de vegetación y uso del suelo de La Montaña de Guerrero en 2001.

Otra de las categorías que se clasificó en 2001 y no en 1993, fue la agricultura de tlacolol, la cual hace referencia a las zonas que en al menos dos periodos presentaron quemadas. Es un tipo de agricultura tradicional, practicada entre los mixtecos, la cual consiste en el desmonte de la vegetación forestal, dejando generalmente gran parte de los tocones de los árboles para facilitar la regeneración en el periodo de barbecho o descanso que puede ir de cuatro a veinte años (Obregón, 1989). Esta categoría tuvo una superficie de 4035.6 ha, cubriendo 1.74% de la región.

### 6.1.3 Mapa de cobertura terrestre de 2011

En la clasificación del año 2011 también se identificaron 15 categorías, al igual que en el mapa generado para el año 2001 (Figura 12).

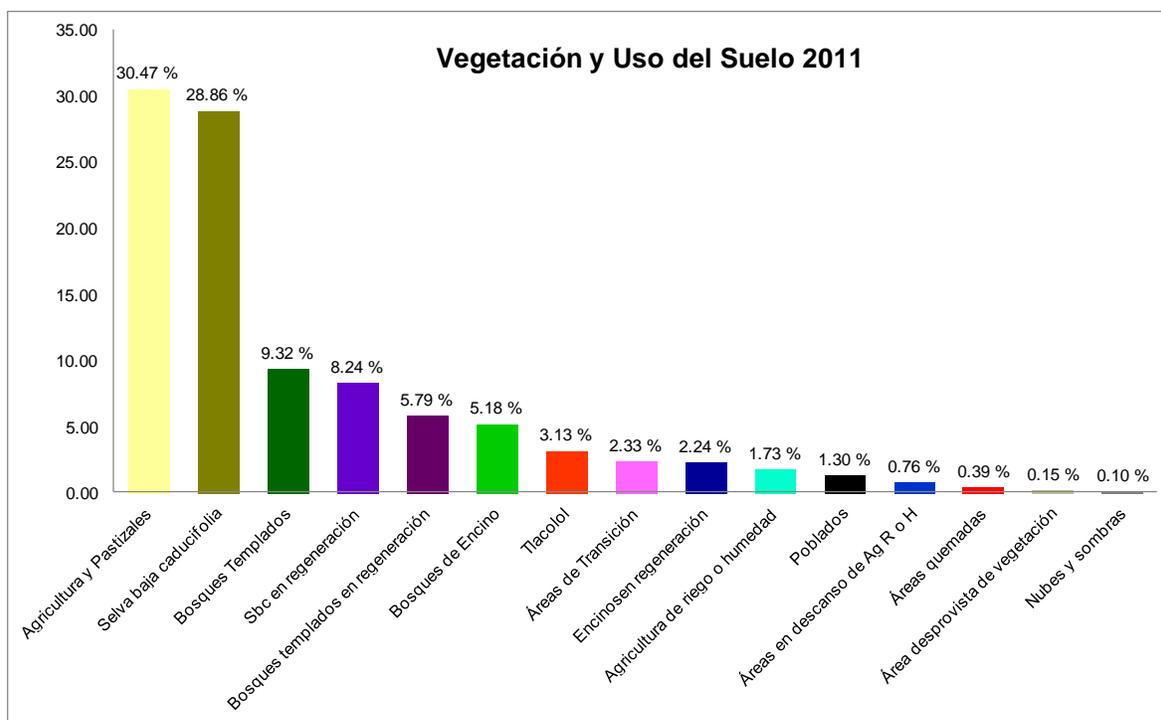


**Figura 12.** Mapa de vegetación y uso del suelo de La Montaña de Guerrero en 2011.

Para el año 2011 la SBC dejó de ser la categoría dominante en la región, cubriendo únicamente el 28.86% de la región, es decir 67,122.18 ha. Mientras que la agricultura y los pastizales pasaron a ser la categoría de mayor extensión, cubriendo 30.47%, con una superficie de 70,861.59 ha (Figura 13).

Las categorías de vegetación en regeneración continuaron creciendo. La SBC en regeneración alcanzó en este año 8.24% del territorio de La Montaña, teniendo una superficie de 19,161.9 ha. Por su parte los bosques templados en regeneración tenían una extensión de 13,473.9 ha, cubriendo 5.79% del área estudiada. Con respecto a los bosques de encino en regeneración, su extensión alcanzó las 5217.21 ha.

La agricultura de tlacolol alcanzó el 3.13% del territorio, cubriendo 7280.1 ha. De las tres fechas analizadas, 2011 fue la que presentó menos superficie afectada por quemadas. En este año solo cubrieron el 0.39% de la región, traducido a solo 913.41 ha. La agricultura de riego o humedad se incrementó a 1.73%. Las localidades continuaron creciendo, alcanzando el 1.30% de la región, superando las 3000 ha.



**Figura 13.** Porcentaje de la superficie de vegetación y uso del suelo de La Montaña de Guerrero en 2011.

## *6.2 Dinámica del paisaje de la región de La Montaña de Guerrero*

El análisis de la dinámica del paisaje de La Montaña de Guerrero, muestra que las categorías de coberturas forestales son las que presentan las mayores pérdidas (Cuadro 6).

De las cuatro categorías de vegetación que se identificaron, la SBC es la que tuvo la mayor pérdida de superficie, la cual fue de 991.04 ha, pero no fue la categoría con mayor tasa de cambio. En 1993, paso de tener 84,942.45 hectáreas (ha) a tener 67,122.18 ha en 2011. Presentó una mayor tasa de cambio en el primer periodo de estudio, de 1993 a 2011, la cual alcanzó el -1.73%, disminuyendo a -0.95% para el segundo periodo, que comprende de 2001 a 2011.

La mayor tasa de cambio de estas categorías de coberturas forestales corresponde a los bosques de encino con -2.71%, los cuales pasaron de tener 19,748.88 ha en 1993 a 12,044.97 ha en 2011. Al igual que la mayor parte de las categorías, su tasa de cambio fue mayor para el primer periodo de estudio, alcanzando el -4.35%, durante el segundo periodo de estudio esta tasa disminuyó a -1.38%.

Los bosques templados presentaban una superficie de 27,146.79 ha en 1993 y en 2011 disminuyó a 21,667.05 ha, con una tasa de cambio anual de -1.25%. Las áreas de transición también disminuyeron en el periodo de estudio. En 1993 presentaban una extensión de 6038.55 ha y para 2011 disminuyeron a 5428.53 ha, su tasa de cambio fue de -0.51%.

Dentro de las categorías de uso antrópico, la agricultura y pastizales tuvo un incremento de 1993 a 2001 pasando de tener una extensión de 72,405.54 ha a 73,402.11 ha, Sin embargo, para el año 2011 su extensión disminuyó a 70,861.59 ha. La tasa de cambio para esta categoría fue de -0.10%.

**Cuadro 6.** Superficies en hectáreas y porcentaje, cambios entre periodos y tasas de cambio de las categorías de cobertura terrestre de La Montaña de Guerrero

Categoría	1993	2001	2011	1993%	2001%	2011%	Cambio anual (ha) de 1993 a 2011	Tasa de cambio % de 1993 a 2011	Tasa de cambio % de 1993 a 2001	Tasa de cambio % de 2001 a 2011
Selva baja caducifolia	84,942.45	73,862.28	67,122.18	36.53	31.76	28.86	-990.015	-1.30	-1.73	-0.95
Bosques Templados	27,146.79	22,506.75	21,667.05	11.67	9.68	9.32	-304.43	-1.25	-2.32	-0.38
Agricultura y Pastizales	72,405.54	73,402.11	70,861.59	31.14	31.56	30.47	-85.775	-0.12	0.17	-0.35
Bosques de Encino	19,748.88	13,843.8	12,044.97	8.49	5.95	5.18	-427.995	-2.71	-4.35	-1.38
Áreas de Transición	6038.55	5608.89	5428.53	2.60	2.41	2.33	-33.89	-0.59	-0.92	-0.33
Áreas en descanso de Agricultura de riego o humedad	1920.87	2196.27	1768.23	0.83	0.94	0.76	-8.48	-0.46	1.69	-2.14
Áreas quemadas	15,736.23	5163.21	913.41	6.77	2.22	0.39	-823.49	-14.63	-13.00	-15.90
Agricultura de riego o humedad	3065.85	3404.97	4021.38	1.32	1.46	1.73	53.085	1.52	1.32	1.68
Poblados	1199.07	2454.3	3019.23	0.52	1.06	1.30	101.12	5.26	9.37	2.09
Área desprovista de vegetación	344.43	344.43	344.43	0.15	0.15	0.15	0	0.00	0.00	0.00
Nubes y sombras	0	769.32	224.19	0.00	0.33	0.10	-30.285	-11.60	-1.73	-11.60
Sbc en regeneración	0	12,033.9	19,161.9	0.00	5.17	8.24	396	4.76		4.76
Bosques templados en regeneración	0	8629.2	13,473.9	0.00	3.71	5.79	269.15	4.56		4.56
Bosques de encino en regeneración	0	4293.63	5217.21	0.00	1.85	2.24	51.31	1.97		1.97
Tlacolol	0	4035.6	7280.1	0.00	1.74	3.13	180.25	6.08		6.08

Para el caso de la agricultura de riego o humedad se presentó un incremento en los periodos de estudio. En 1993 su extensión era de 3065.85 ha, para el año 2001 creció a 3404.97 ha y para 2011 tenía una superficie de 4021.38 ha, su tasa de cambio fue negativa, con un valor de -0.12%, debido a que en el primer periodo de estudio tuvo un cambio negativo de -0.17%. La agricultura de tlacolol tuvo un incremento de 4,035 ha en el año 2001 a 7280.1 ha en 2011, con una tasa de cambio de 6.08 %.

Las áreas en descanso de la agricultura de riego o humedad se incrementaron de 1993 a 2001, pasando de tener 1920.87 ha a 2196.27 ha, pero en el año 2011 disminuyeron a 1768.23 ha. Su tasa de cambio para los 18 años de estudio fue de -0.46%, presentando un incremento de 1993 a 2001 con una tasa de cambio de 1.69%, mientras que para el periodo de 2001 a 2011 su tasa de cambio fue negativa: -2.14%.

Las áreas quemadas tuvieron una mayor superficie en 1993, la cual fue de 15,736.23 ha. Para el año 2001 esta superficie disminuyó más de 10,000 ha, cubriendo solo 5163.21 ha. En 2011 continuó esta tendencia, y las áreas quemadas cubrieron únicamente 913.41 ha. La tasa de cambio de esta categoría fue de -12.68%.

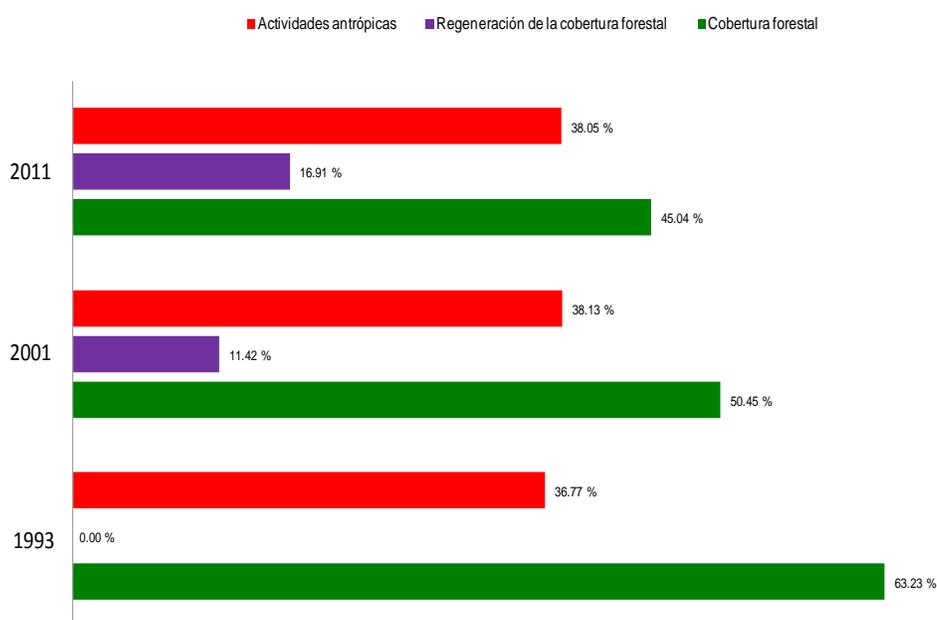
Los poblados también tuvieron un incremento en las tres fechas. En 1993 tenían 1199.07 ha, para 2001 se incrementó a 2452.3 ha y en 2011 tenían una extensión de 3019.23 ha. Su tasa de cambio total fue de 5.26%, siendo mucho mayor de 1993 a 2001, con un valor de 9.37%. De 2001 a 2011 esta tasa de cambio disminuyó a 2.09%.

En el caso de la vegetación en regeneración las tres categorías clasificadas presentaron un incremento. La selva baja caducifolia en regeneración se incrementó de 12,033.9 ha en 2001 a 19,161.9 ha en al año 2011, y tuvo una tasa de cambio de 4.76%. Los bosques templados secundarios pasaron de 8,629.2 ha

en 2001 a 13,473.9 ha en 2011. Su tasa de cambio fue de 4.56. Los bosques de encino en regeneración tuvieron un menor incremento; pasaron de tener 4035.6 ha en 2001 a 5217.21 ha en 2011. Su tasa de cambio fue la menor de estas tres categorías, correspondiente a 1.97%.

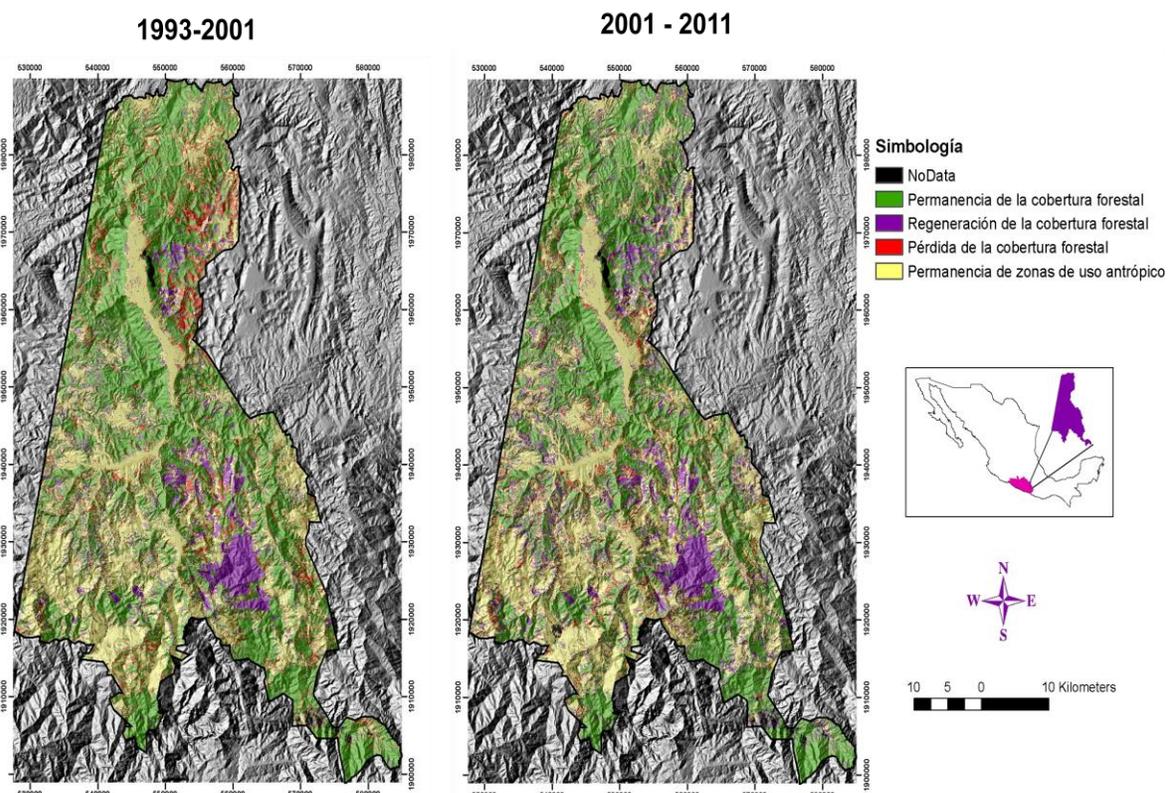
Las áreas desprovistas de vegetación mantuvieron la misma extensión durante las tres fechas analizadas. Mientras que la categoría de nubes y sombras de nubes tuvo una mayor presencia en la imagen del año 2001.

Analizando estos cambios por grupos de vegetación forestal, vegetación en regeneración y usos antrópicos, podemos apreciar que en 1993 la cobertura forestal tenía una extensión de 63.23%, para el año 2001 disminuyó a 50.45% y en el 2011 sólo cubría el 45.04% de la parte cálida de la región. En el caso de las categorías de usos antrópicos, en el año de 1993 tenían una superficie de 36.77%, para el 2001 se incrementaron a 38.13% y en el año 2011 disminuyeron a 38.05%, lo que representa una pérdida de 1,885.32 ha. Con respecto a la superficie de vegetación en regeneración en el año de 2001 cubrían el 11.42% de la región, y para el 2011 se incrementó a 16.91% (Figura 14).



**Figura 14.** Cambios en la cobertura forestal, regeneración de la cobertura forestal y actividades antrópicas de 1993, 2001 y 2011.

En el mapa que se presenta en la Figura 15 se aprecia que hubo mayor pérdida de la cobertura forestal durante el primer periodo de estudio, que comprende de 1993 a 2001, que las pérdidas dadas en el segundo periodo, de 2001 a 2011 y que éstas pérdidas dadas en el primer periodo tuvieron una regeneración para el segundo periodo.



**Figura 15.** Mapa de cambios en la cobertura forestal de la región de La Montaña de Guerrero.

### 6.2.1 Cambios netos

El análisis de los cambios netos muestra que en general las categorías de vegetación tuvieron ganancias. Para el periodo de 1993 a 2001 se puede apreciar que tanto para la SBC como para los bosques templados no se presentaron pérdidas netas, siendo los cambios netos de +1003.05 ha para la SBC y de +3991.86 ha para los bosques templados; Sin embargo, los bosques de encino presentaron un cambio neto de -1589.67 ha. En el caso de la agricultura y los pastizales su cambio neto fue de +996.57 ha. (Cuadro 7).

Los cambios netos positivos que se aprecian en las categorías de vegetación forestal son debidos a la regeneración de la cobertura forestal que se presentó en la región.

**Cuadro 7.** Cambios netos de las categorías de vegetación y la agricultura y los pastizales de 1993 a 2001.

<b>Categoría</b>	<b>Pérdidas entre 1993 y 2001</b>	<b>Ganancias entre 1993 y 2001</b>	<b>Cambio neto de 1993 a 2001</b>
Selva baja caducifolia	11,030.85	12,033.9	+ 1003.05
Bosques Templados	4637.34	8629.2	+ 3991.86
Bosques de Encino	5883.3	4293.63	- 1589.67
Agricultura y Pastizales	16113.6	17,110.17	+ 996.57

Para el segundo periodo de estudio las tendencias fueron muy similares. Mientras que los cambios netos para la SBC y los bosques templados superaron las +4000 ha, para los bosques de encino apenas alcanzaron las +11.7 ha, y la agricultura y los pastizales presentaron un cambio neto de -2385.81 ha, ya que las pérdidas en extensión de superficie superaron a las ganancias (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Cambios netos de las categorías de vegetación y la agricultura y los pastizales de 2001 a 2011.

<b>Categoría</b>	<b>Pérdidas entre 2001 y 2011</b>	<b>Ganancias entre 2001 y 2011</b>	<b>Cambio neto de 2001 y 2011</b>
Selva baja caducifolia	6471.27	10,483.56	+ 4012.29
Bosques Templados	1447.92	5502.6	+ 4054.68
Bosques de Encino	1766.34	1778.04	+ 11.7
Agricultura y Pastizales	16,381.89	13,996.08	- 2385.81

### *6.2.2 Transiciones entre categorías*

El análisis de las transiciones entre categorías de la cobertura terrestre de un tiempo a otro permite identificar las direcciones de cambio, obteniendo datos cuantitativos de la superficie ganada, perdida o conservada por categoría. De esta manera se pudo observar que la mayor transformación de las coberturas forestales es debida a la expansión de la categoría de agricultura y pastizales. Por el contrario, las mayores regeneraciones de la cobertura forestal provienen del abandono o descanso de la agricultura y los pastizales.

El análisis de estas transiciones se presenta en dos periodos, el primero corresponde a los años de 1993 a 2001, el segundo periodo abarcó de 2001 al año 2011.

#### *6.2.2.1 Transiciones entre las categorías de 1993 a 2001*

En el primer periodo de estudio que comprende de 1993 a 2001, se puede apreciar, como ya se mencionó anteriormente, que las mayores pérdidas de vegetación forestal (SBC, bosques templados y bosques de encino) son por la expansión de la categoría de agricultura y pastizales (Ag y Pz). La SBC perdió más de 9000 ha que se transformaron a Ag y Pz, mientras que los bosques templados perdieron más de 3500 ha por la misma causa, al igual que los bosques de encino. Las permanencias de cada categoría, se muestran en la diagonal de la matriz (Cuadro 9).

Otro factor de disminución para las categorías forestales, fueron las quemaduras. De las 19,748.88 ha que tenían los bosques de encino en 1993, 2,185.74 ha se quemaron en 2001. Para el caso de la selva baja caducifolia 1, 170.72 ha que tenía en 1993, pasaron a ser áreas quemadas en 2001.

**Cuadro 9.** Matriz de transición entre las categorías de vegetación y uso de suelo de 1993 a 2001. SBC = selva baja caducifolia, BT = bosques templados, Ag y Pz = agricultura y pastizales, BE= bosques de encino, AT = áreas de transición, AD AgR o H = áreas en descanso de agricultura de riego o humedad, AQ = áreas quemadas, AR o H = agricultura de riego o humedad, LOC = localidades, ADV = áreas desprovistas de vegetación, N y S = nubes y sombras, SBC REG = selva baja caducifolia en regeneración, BT REG= bosques templados en regeneración, BE REG = bosques de encino en regeneración.

	SBC	BT	Ag y Pz	ENCINOS	AT	AD Ag R o H	AQ	Ag R o H	LOC	ADV	N Y S	SBC REG	BT REG	BE REG	TLACOLOL	TOTAL 01
SBC	73,862.28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73,862.28
BT	0	22,506.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,506.75
Ag y Pz	9515.61	3598.83	56,291.94	3678.84	164.43	152.46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73,402.11
ENCINOS	0	0	0	13,843.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,843.8
AT	0	0	0	0	5608.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5608.89
AD Ag R o H	0	0	376.92	0	0	1556.55	0	262.8	0	0	0	0	0	0	0	2196.27
AQ	1170.72	377.19	1165.23	2185.74	264.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5163.21
Ag R o H	228.06	0	215.46	0	0	197.82	0	2763.63	0	0	0	0	0	0	0	3404.97
LOC	97.83	0.9	1101.24	0.9	0.9	14.04	0	39.42	1199.07	0	0	0	0	0	0	2454.3
ADV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	344.43	0	0	0	0	0	344.43
N Y S	0.27	660.42	97.92	10.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	769.32
SBC REG	49.05	0	9796.5	0	0	0	2188.35	0	0	0	0	0	0	0	0	12,033.9
BT REG	0	2.7	1738.89	0	0	0	6887.61	0	0	0	0	0	0	0	0	8629.2
BE REG	0	0	1615.41	20.88	0	0	2657.34	0	0	0	0	0	0	0	0	4293.63
TLACOLOL	18.63	0	6.03	8.01	0	0	4002.93	0	0	0	0	0	0	0	0	4,035.6
TOTAL 93	84,942.45	27,146.79	72,405.54	19,748.88	6038.55	1920.87	15,736.23	3065.85	1199.07	344.43	0	0	0	0	0	232,548.66

Por otra parte, la categoría de la agricultura y los pastizales perdió más de 9700 ha que pasaron a ser SBC en regeneración, 1738.89 ha que se regeneraron a bosque de encino y 1615.41 ha que pasaron a ser bosques templados en regeneración.

Gran parte de las áreas quemadas en 1993 se regeneraron a alguna categoría de vegetación, siendo más de 6800 ha quemadas en 1993 las que pasaron a ser bosques de encino en regeneración para el año 2001. Mientras que una superficie mayor a 2100 ha clasificadas como áreas quemadas en 1993 se regeneraron a SBC.

La mayor parte del incremento de la superficie de las localidades proviene de la disminución de la agricultura y los pastizales, poco más de 470 ha de esta última categoría en el año de 1993 pasaron a ser localidades para el 2001.

#### *6.2.2.2 Transiciones entre las categorías de 2001 a 2011*

Para el periodo de 2001 a 2011 (Cuadro 10) hubo una fuerte disminución de las superficies afectadas por las quemadas. Poco más de 3000 ha quemadas en 2001 se clasificaron en 2011 como áreas de agricultura de tlacolol, esto debido a que durante dos fechas fueron clasificadas como áreas quemadas, lo que indica que estas zonas pertenecen a un ciclo agrícola de roza-tumba-quema (tlacolol). Mientras que poco más de 4000 ha de tlacolol en 2001, permanecieron para el año 2011.

Las pérdidas de las zonas forestales provocadas por la expansión de la agricultura y los pastizales fueron menos intensas que en el primer periodo analizado. De hecho una gran extensión de Ag y Pz de 2001 paso a ser áreas en regeneración en el año 2011. De estas regeneraciones 10, 010.61 ha pasaron de Ag y Pz a SBC en regeneración, y 5202.99 ha a ser bosques templados en regeneración.

**Cuadro 10.** Matriz de transición entre las categorías de vegetación y uso de suelo de 2001 a 2011. SBC = selva baja caducifolia, BT = bosques templados, Ag y Pz = agricultura y pastizales, BE= bosques de encino, AT = áreas de transición, AD AgR o H = áreas en descanso de agricultura de riego o humedad, AQ = áreas quemadas, AR o H = agricultura de riego o humedad, LOC = localidades, ADV = áreas desprovistas de vegetación, N y S = nubes y sombras, SBC REG = selva baja caducifolia en regeneración, BT REG= bosques templados en regeneración, BE REG = bosques de encino en regeneración.

	SBC	BT	Ag y Pz	ENCINOS	AT	AD Ag R o H	AQ	Ag R o H	LOC	ADV	N Y S	SBC REG	BT REG	BE REG	TLACOLOL	TOTAL 11
SBC	67,121.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.27	0	0	0	0	67,122.18
BT	0	20,985.84	0	0	0	0	0	0	0	0	681.21	0	0	0	0	21,667.05
Ag y Pz	6277.5	1375.02	56,865.51	1612.35	164.7	0	0	0	0	0	69.57	3031.2	630.45	835.29	0	70,861.59
ENCINOS	0	0	0	12,028.32	0	0	0	0	0	0	16.65	0	0	0	0	12,044.97
AT	0	0	0	0	5428.53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5428.53
AD Ag o H	0	0	0	0	0	1522.35	0	245.88	0	0	0	0	0	0	0	1768.23
AQ	142.2	7.47	386.91	153.99	15.66	7.65	0	2.25	0	0	1.08	154.35	22.77	19.08	0	913.41
Ag R o H	0	0	191.88	0	0	656.01	0	3156.84	0	0	0	16.65	0	0	0	4021.38
LOC	51.57	0.09	473.85	0.36	0	10.26	0.09	0	2454.3	0	0	28.08	0.54	0.09	0	3019.23
ADV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	344.43	0	0	0	0	0	344.43
N Y S	0	65.34	154.62	0	0	0	0.09	0	0	0	0	0	4.14	0	0	224.19
SBC REG	269.01	0	10,010.61	0	0	0	203.94	0	0	0	0	8678.34	0	0	0	19,161.9
BT REG	0	72.9	5202.99	0	0	0	226.17	0	0	0	0.54	0	7971.3	0	0	13,473.9
BE REG	0	0	91.8	48.69	0	0	1637.55	0	0	0	0	0	0	3439.17	0	5217.21
TLACOLOL	0	0	23.85	0	0	0	3095.37	0	0	0	0	125.28	0	0	4035.6	7280.1
TOTAL 01	73,862.19	22,506.66	73,402.02	13,843.71	5608.89	2196.27	5163.21	3404.97	2454.3	344.43	769.32	12,033.9	8629.2	4293.63	4035.6	232,548.3

Las pérdidas de la superficie de la SBC por la extensión de la categoría Ag y Pz fueron menores con respecto al primer periodo analizado, a pesar de esto, se dio una pérdida de 6, 227.5 ha. Los bosques de encino y los bosques templados tuvieron una pérdida mayor a 1000 ha que fueron transformadas a áreas de Ag y Pz.

Hubo una proporción de vegetación en regeneración del año 2001 que al año 2011 volvió a integrarse a la categoría de Ag y Pz, lo que posiblemente se debió a que estas áreas pertenecen a un sistema de rotación de cultivos que en 2001 estaban en descanso, pero al año 2011 ya estaban siendo utilizadas nuevamente. De esta manera, más de 3000 ha de SBC en regeneración pasaron a ser Ag y Pz, mientras que 630.45 ha de bosques templados y 835.29 ha de bosques de encino también fueron transformadas a Ag y Pz.

Un total de 8678.34 ha de SBC en regeneración permanecieron en la misma categoría de 2001 a 2011. Esto quiere decir que estas áreas tienen una edad mayor a diez años, mientras que casi 8000 ha de bosques templados en regeneración también permanecieron.

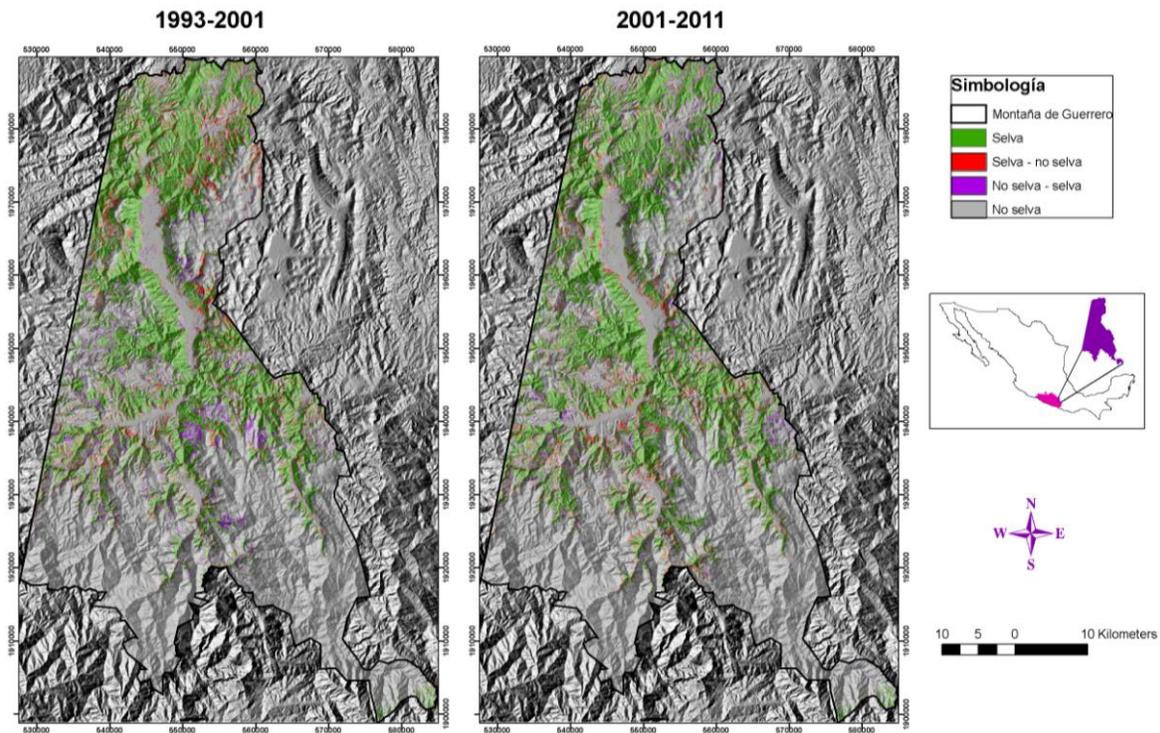
### *6.3 Validación de la clasificación*

La clasificación realizada con el algoritmo MaxEnt obtuvo valores altos de fiabilidad (F) y kappa (k), siendo de 87.70 y 0.81 respectivamente. El valor de k es de 0.81 por lo que es considerado que hay una concordancia entre la clasificación del año 2011 y la realidad.

### *6.4 Dinámica de la selva baja caducifolia*

Para realizar el análisis de cambios en la cobertura de la selva baja caducifolia se utilizaron las categorías de SBC y SBC en regeneración, con el objetivo de distinguir tanto las pérdidas como las regeneraciones, así como las

permanencias de la selva. En la Figura 16 se muestran estas pérdidas, regeneraciones (ganancias) y permanencias que presentó en los dos periodos analizados, de 1993 a 2001 y de 2001 a 2011.

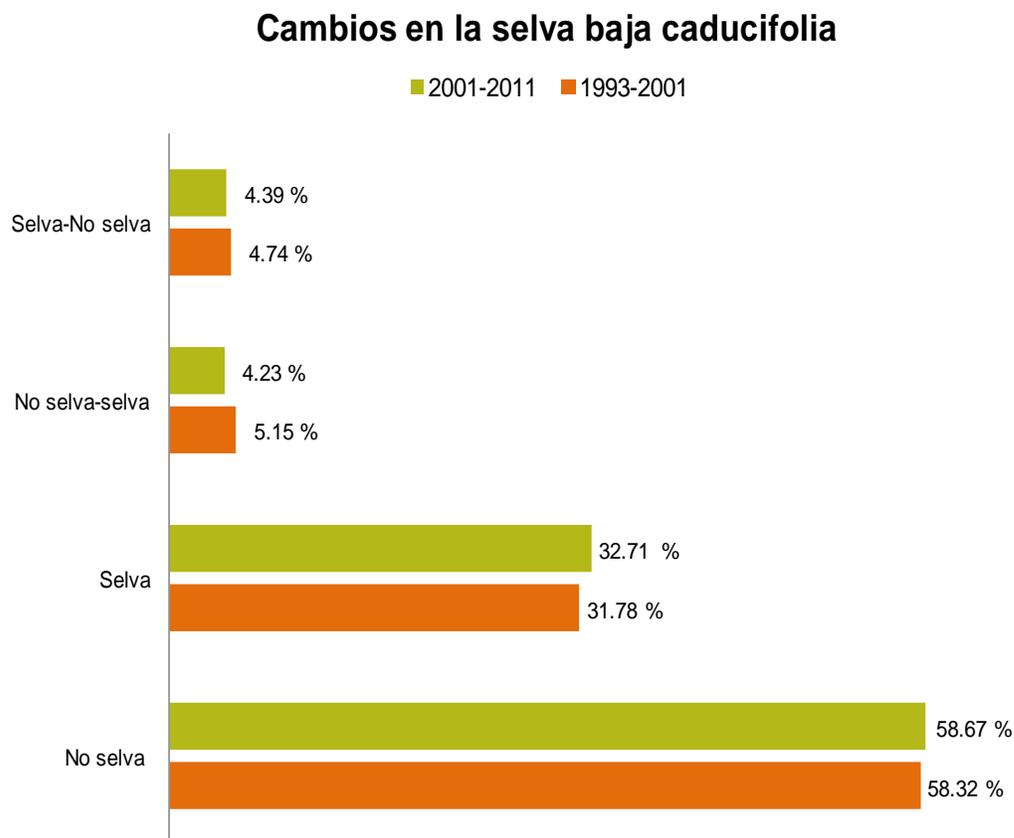


**Figura 16.** Mapa de cambios en la selva baja caducifolia de La Montaña de Guerrero de 1993 a 2001 y 2001 a 2011.

Si analizamos estos cambios en función de sus transiciones, se puede observar que en el periodo de 1993 a 2001 el porcentaje de SBC que pasó a ser otra categoría diferente a la selva baja fue de 5.15%, lo que equivale a una pérdida de 11,031.12 ha. Por otro lado las regeneraciones (no selva - selva) fueron de 4.74% es decir, 11,984.85 ha.

El porcentaje de selva que permaneció sin cambio fue de 31.78%, mientras que la superficie de la categoría no selva que permaneció sin cambios de 1993 a 2001 fue de 58.32%. Para el segundo periodo, de 2001 a 2011, el porcentaje de selva que se perdió fue de 4.39%, lo que corresponde a una superficie de 10,

214.82 ha, mientras que el porcentaje de selva que se regeneró fue de 4.23, lo que corresponde a una regeneración de 9826.83 ha (Figura 17).



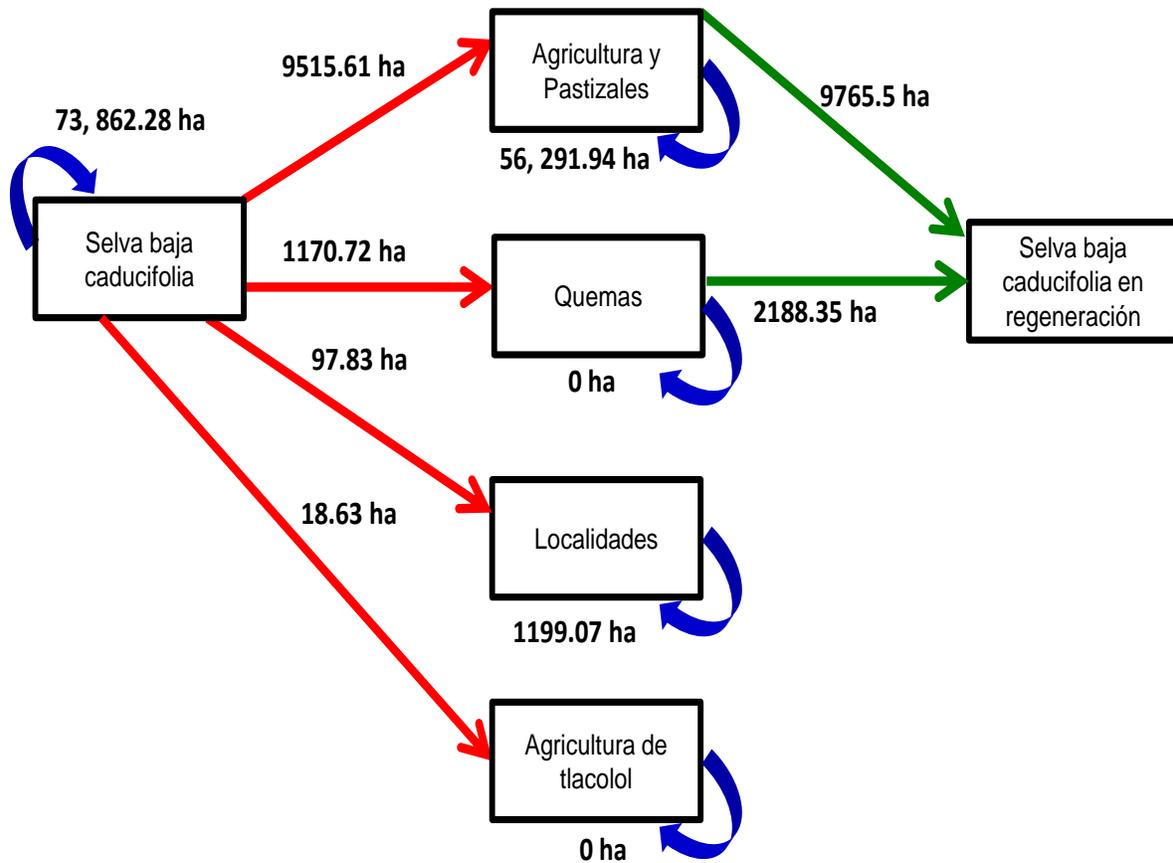
**Figura 17.** Porcentajes de cambio y permanencia de la selva baja caducifolia con respecto a lo que no es selva.

#### 6.4.1 Modelo de procesos de cambio de la selva baja caducifolia de 1993 a 2001

El modelo de procesos de cambio de 1993 a 2001 muestra que más de 73,000 ha de selva baja caducifolia se mantuvieron durante las dos fechas analizadas. Sin embargo, hubo importantes pérdidas debido a la conversión de la selva a otras categorías de uso de suelo. El principal factor de pérdida de la selva fue la expansión de la frontera agropecuaria, por el cual la selva perdió 9515.61 ha. El segundo factor que provocó pérdidas en la cobertura de la SBC fueron las

quemadas, con 1170.72 ha. Mientras que las pérdidas ocasionadas por la expansión de las localidades y la agricultura de tlacolol fueron menores (Figura 18).

Se presentaron regeneraciones en la selva. La principal (6277.5 ha) provino del abandono o descanso de áreas de agricultura y pastizales. Por su parte 2188.35 ha de áreas quemadas en 1993 se regeneraron a SBC.



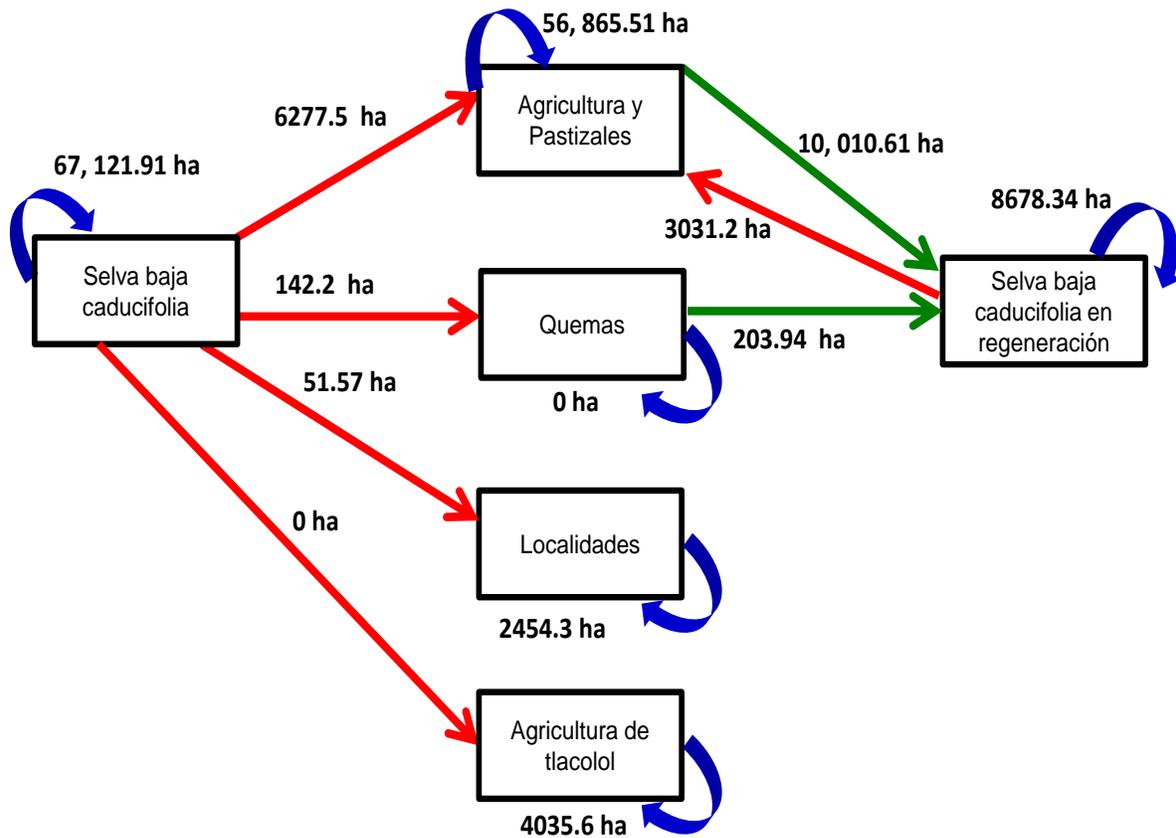
**Figura 18.** Modelo de procesos de cambio de la selva baja caducifolia de 1993 a 2001. Flecha azul indica permanencias de las categorías, flecha roja pérdidas y flecha verde regeneraciones de la selva baja caducifolia.

#### 6.4.2 Modelo de procesos de cambio de la selva baja caducifolia de 2001 a 2011

Para el periodo de 2001 a 2011, la SBC mantuvo 67,121.91 ha sin cambios. Perdió más de 6277.5 ha por apertura de nuevas áreas para uso agropecuario,

142.2 ha por quemas, mucho menos que en el primer periodo analizado, y sólo 51.57 por la expansión de las localidades.

Un total de 10,000 ha de agricultura y pastizales del año 2001, se transformaron a SBC en descanso para el año 2011. La regeneración proveniente de las áreas quemadas fue de 203.94 ha, mientras que poco más de 3000 ha de SBC en regeneración en 2001 se transformaron a áreas de agricultura y pastizales para el año 2011 (Figura 19).

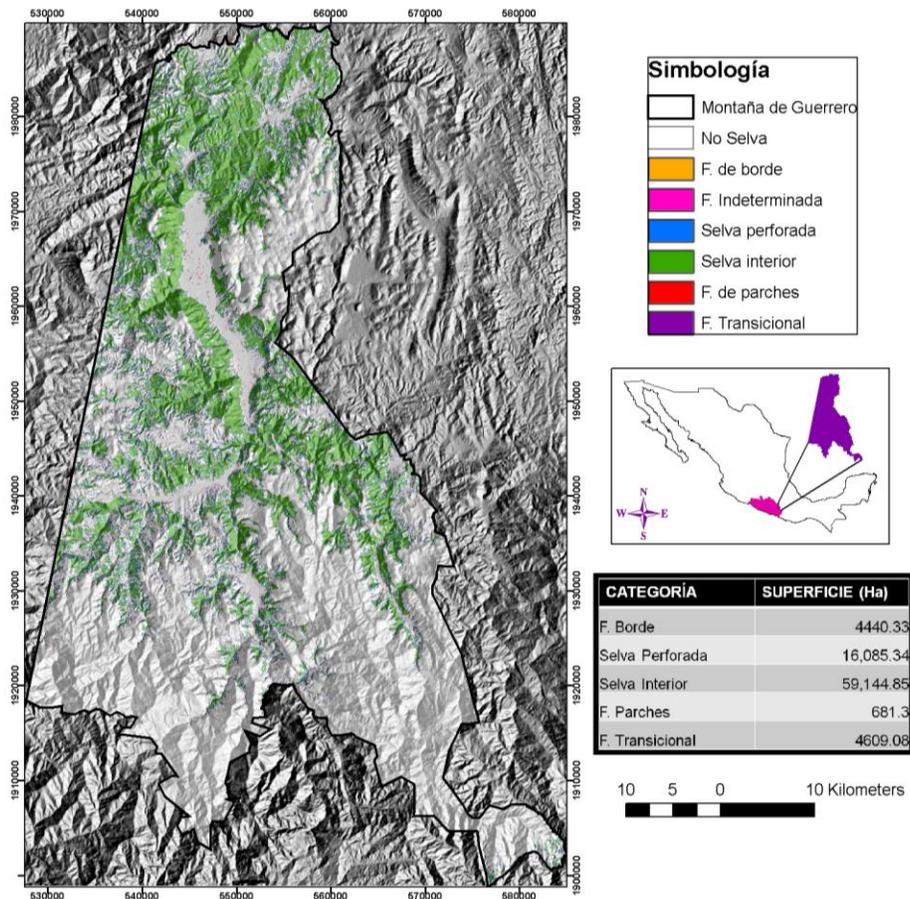


**Figura 19.** Modelo de procesos de cambio de la selva baja caducifolia de 2001 a 2011. Flecha azul indica permanencias de las categorías, flecha roja pérdidas y flecha verde regeneraciones de la selva baja caducifolia.

### 6.5 Patrones de fragmentación de la selva baja caducifolia

En el año de 1993 la mayor parte de la selva baja caducifolia fue clasificada como selva interior. Esto quiere decir que gran parte de la selva presentaba 100% de continuidad y adyacencia. De las más de 84,000 ha que tenía la SBC en ese año, poco más de 59,000 fueron clasificadas en esa categoría. La segunda categoría con mayor superficie fue la selva perforada, superando las 16,000 ha. Dentro de esta categoría se clasificaron zonas que tienen una continuidad de vegetación mayor al 60%, pero la adyacencia o continuidad es menor a 100% (Figura 20).

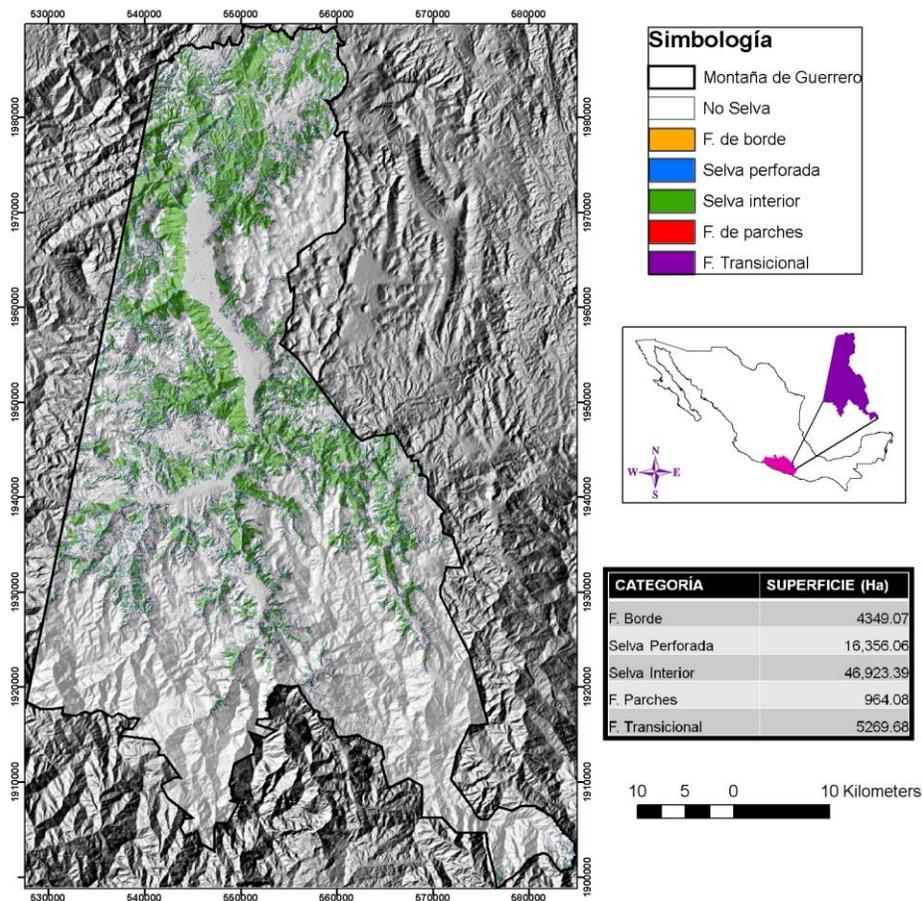
**Fragmentación de la selva baja caducifolia en 1993**



**Figura 20.** Patrones espaciales y superficies de fragmentación de la selva baja caducifolia en 1993. F = fragmentación.

Para el año 2001 la selva interior siguió siendo la categoría predominante, Sin embargo, su superficie disminuyó poco más de 12,000 ha, quedando con tan solo 46,923.39 ha. La segunda categoría con mayor superficie siguió siendo la selva perforada, con 16,356.06 ha, incrementándose poco más de 270 ha con respecto al año de 1993. La categoría de fragmentación con menor superficie fue la fragmentación en parches (Figura 21).

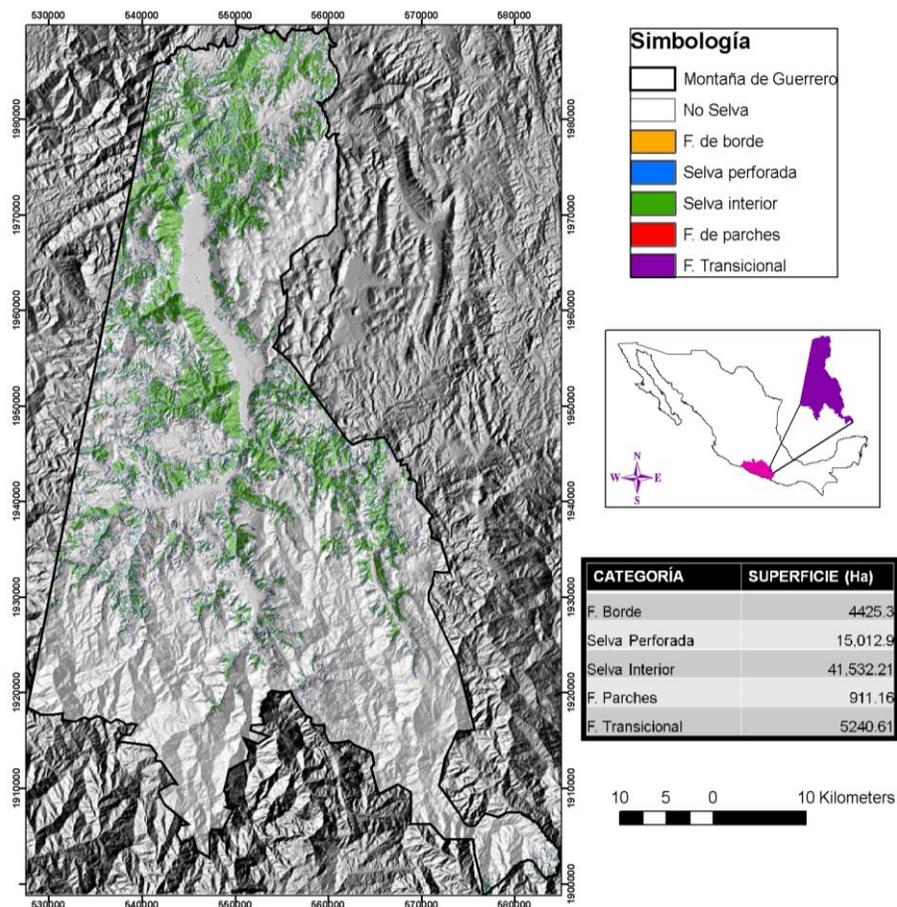
### Fragmentación de la selva baja caducifolia en 2001



**Figura 21.** Patrones espaciales y superficies de fragmentación de la selva baja caducifolia en 2001. F = fragmentación.

En el año 2011 la selva interior disminuyó con respecto a las dos fechas anteriores, teniendo una superficie de 41,532.21 ha, mientras que la selva perforada también disminuyó a 15,012.9 ha (Figura 22).

## Fragmentación de la selva baja caducifolia en 2011



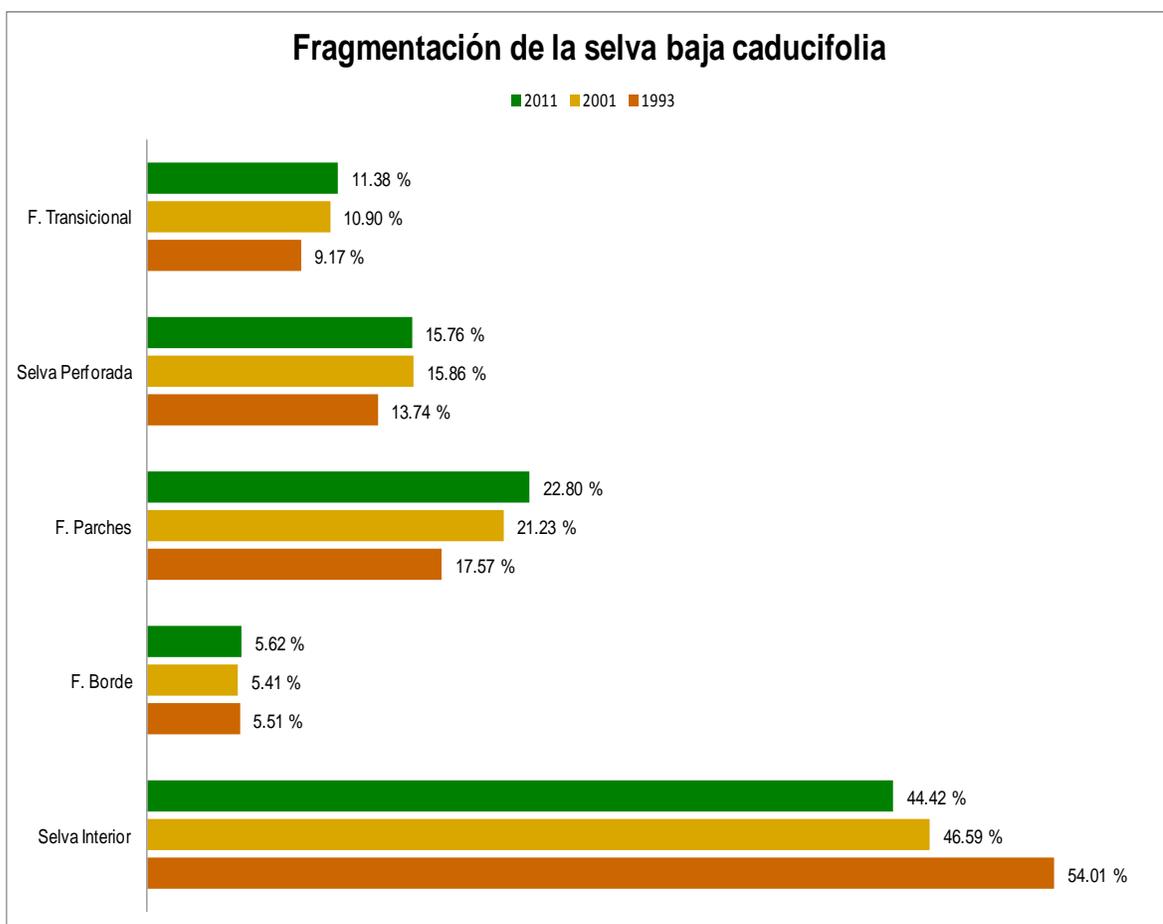
**Figura 22.** Patrones espaciales y superficies de fragmentación de la selva baja caducifolia en 2011. F = fragmentación.

El cambio más notorio en los patrones de fragmentación de la selva baja caducifolia es la disminución de la superficie de la selva interior durante los tres tiempos analizados. En 1993 esta categoría representaba un 54% de la SBC, para 2001 disminuyó a 46.59% y en 2011 tenía 44.42%.

Por su parte, la fragmentación en parches se incrementó, en 1993 tenía un porcentaje de 17.57%, para 2001 se incrementó a 21.23% y en 2011 llegó a 22.80%.

La categoría de fragmentación transicional en 1993 tenía un 9.17%, para el año 2001 se incrementó a 10.90% y en 2011 llegó a 11.38%. Por su parte la selva perforada en las tres fechas presentó un porcentaje importante, mientras que la

fragmentación de borde fue la que menos se presentó y menos cambios tuvo (Figura 23).

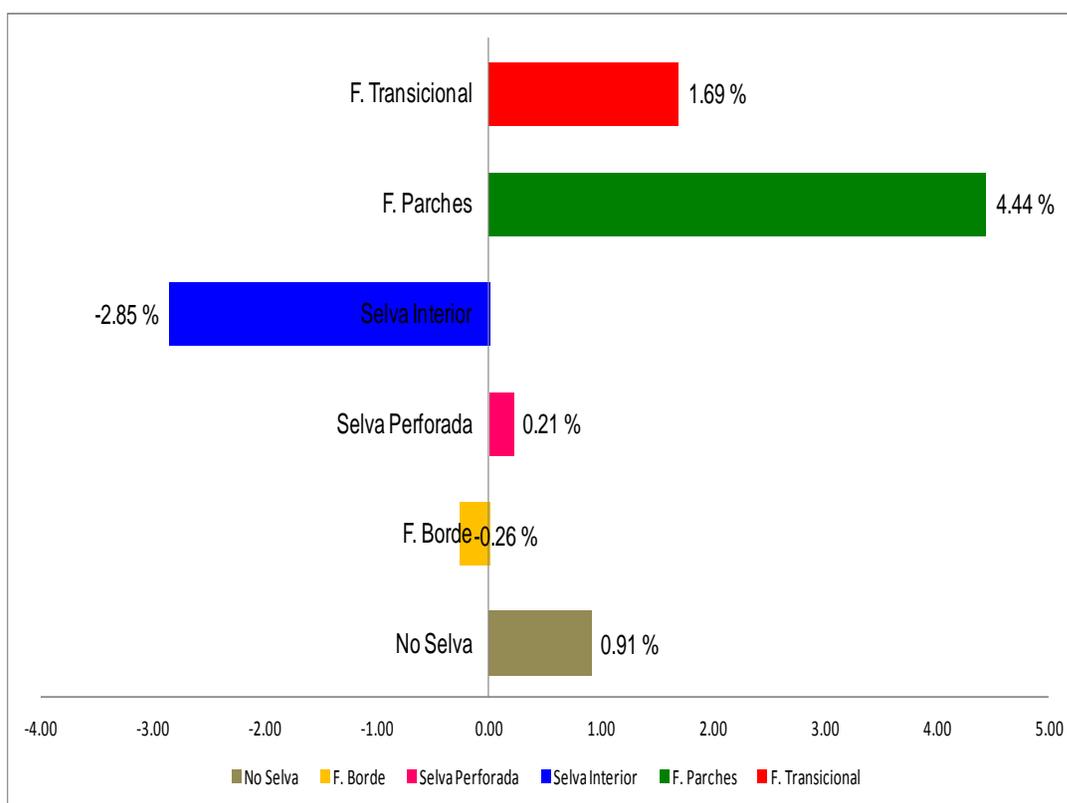


**Figura 23.** Porcentajes de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia en 1993, 2001 y 2011. F = fragmentación.

### 6.5.1 Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia de 1993 a 2001

De acuerdo con los resultados de este análisis, durante el primer periodo que comprende de 1993 a 2001, el cambio más significativo fue la pérdida de la selva interior, la cual tuvo una tasa de cambio de -2.85%, lo que representa una pérdida de 12,221.46 ha. Por su parte, las áreas sin selva tuvieron un ligero incremento de 0.91%. La fragmentación en parches se incrementó (4.44%) siendo

la categoría que mayor incremento presentó. La fragmentación transicional (1.69%) y la selva perforada (0.21%), también tuvo un incremento, mientras que la fragmentación de borde disminuyó (-0.26%) (Figura 24).

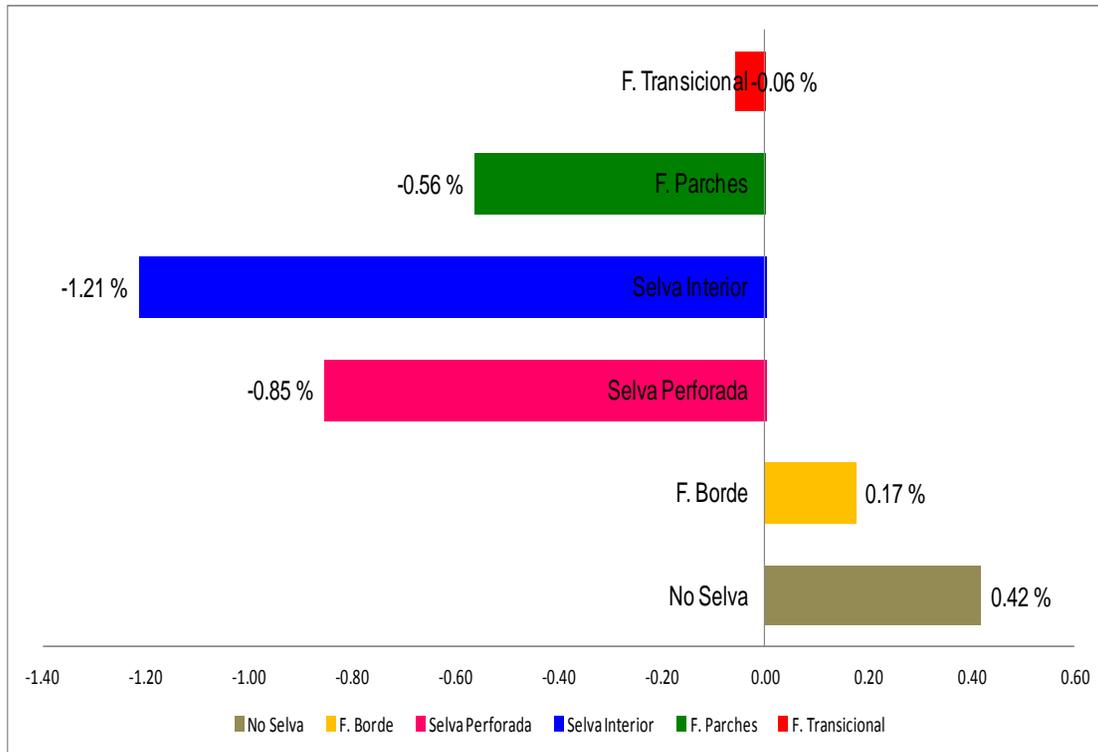


**Figura 24.** Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia entre 1993 y 2001. F = fragmentación.

### 6.5.2 Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia de 2001 a 2011

Para el segundo periodo de análisis que comprende del año 2001 al año 2011, la selva interior tuvo una tasa de cambio menor con respecto al primer periodo analizado, Sin embargo, siguió disminuyendo (-1.21 %), lo que significa una pérdida de 5,391.18 ha, menos de la mitad de superficie que perdió en el primer periodo analizado.

Las áreas abiertas se incrementaron (0.42 %), al igual que la fragmentación de borde (0.35 %), mientras que el resto de las categorías de fragmentación disminuyeron; la selva perforada (-0.85 %) la fragmentación en parches (-0.56 %) y la fragmentación transicional (-0.06 %) presentaron pérdidas (Figura 25).



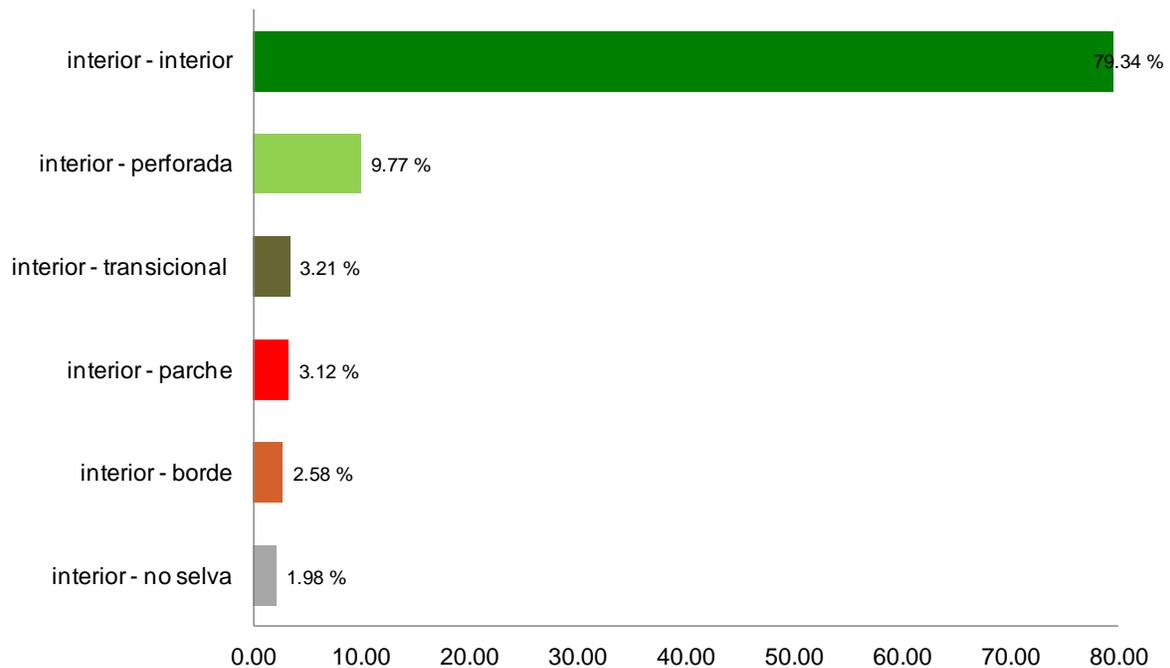
**Figura 25.** Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia entre 2001 y 2011. F = fragmentación.

### 6.6 Cambios en la categoría de selva interior

El análisis de cambios en las categorías de fragmentación, muestra que el proceso más importante de cambio es la pérdida de la selva interior. Esta categoría representa las áreas de selva baja que tienen un 100% de continuidad y densidad, por lo que constituyen las partes de selva que pueden ser propuestas para la conservación.

### 6.6.1 Cambios en la categoría de selva interior de 1993 a 2001

En la Figura 26 se muestran los cambios y la permanencia de la selva interior para el periodo de 1993 a 2001. De esta manera se puede observar que el porcentaje de selva interior que permaneció sin cambios en este periodo fue de 79.34% del total de selva. Siendo la categoría con mayor superficie para las tres fechas de estudio.

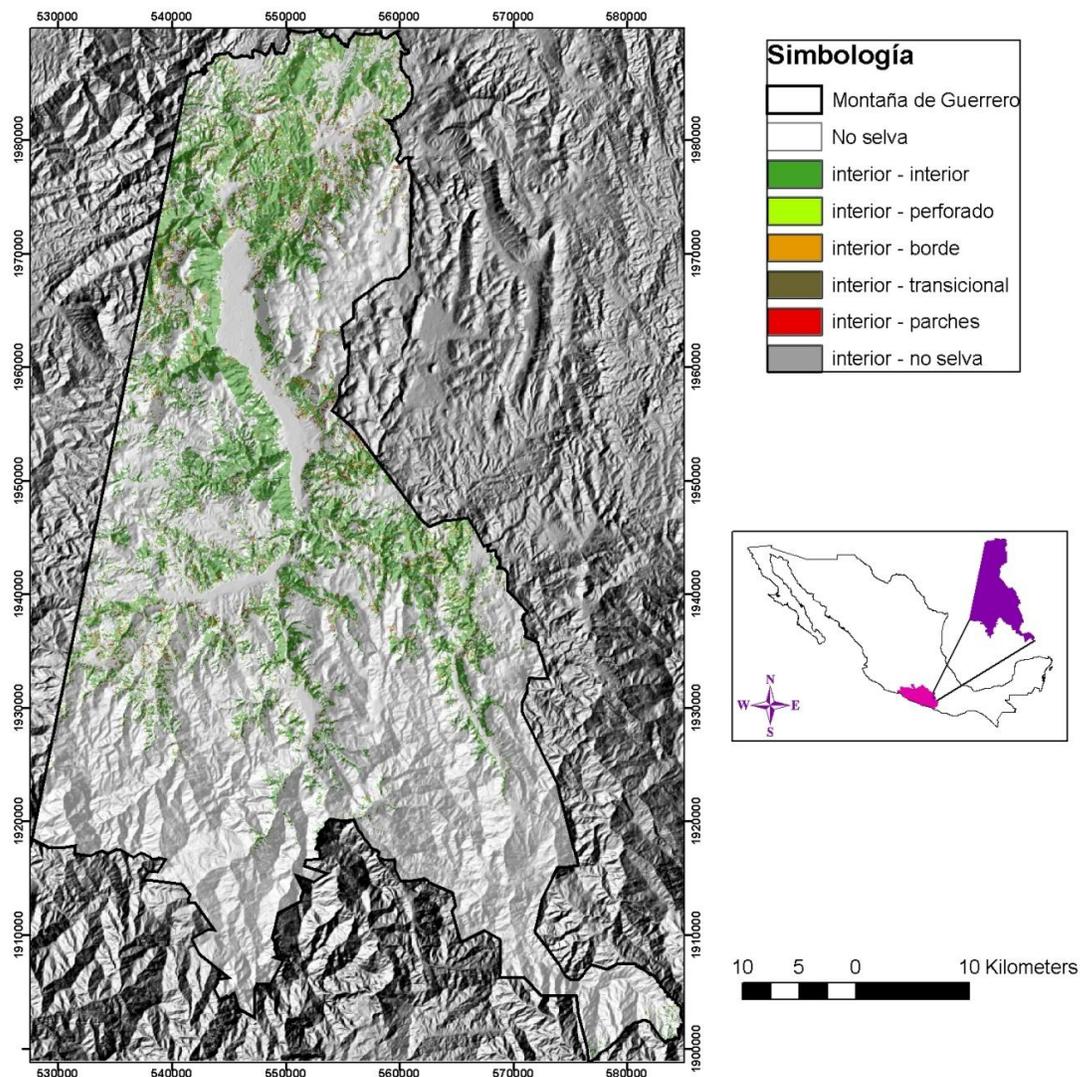


**Figura 26.** Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia entre 1993 y 2001. F = fragmentación.

El mayor porcentaje de cambio de la selva interior corresponde a la pérdida de selva interior a selva perforada, representando un 9.77%. El cambio de selva interior a las categorías de fragmentación transicional y fragmentación en parche superó el 3%, mientras que la transformación a fragmentación de borde fue de 2.58%.

La pérdida directa de selva interior a no selva fue de 1.98% en el primer periodo, y de 1.04% en el segundo periodo (Figura 27).

### Cambios en la selva interior de 1993 a 2001

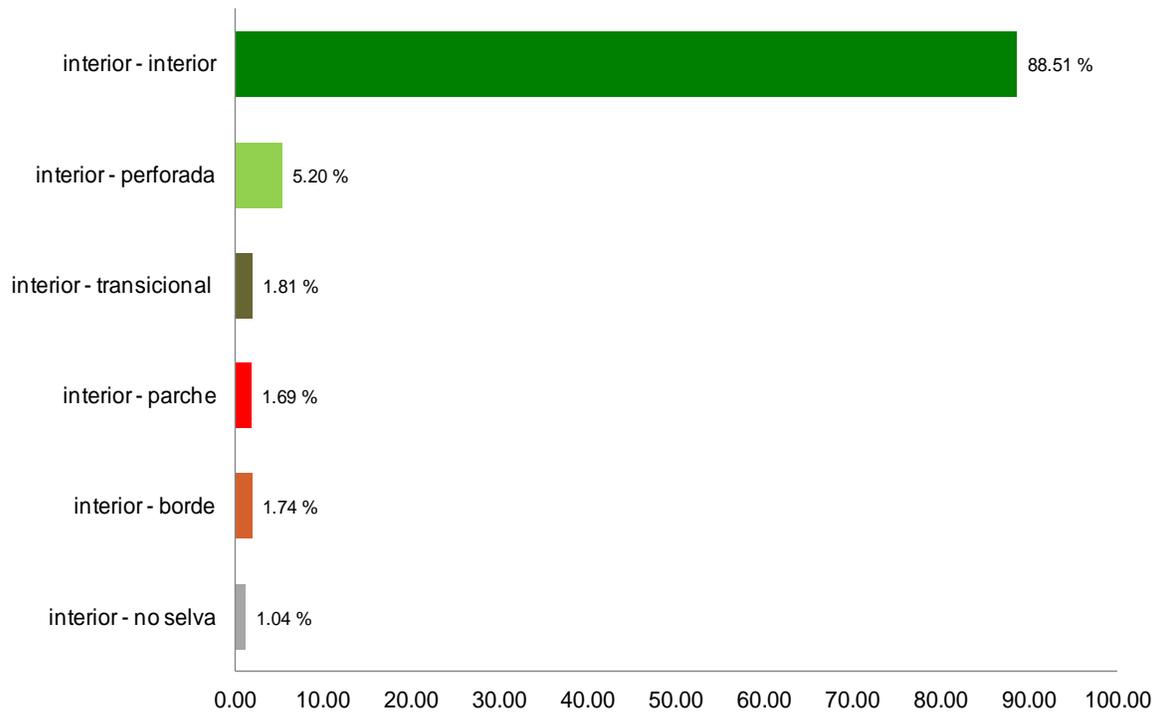


**Figura 27.** Mapa de cambios en la categoría de selva interior de 1993 a 2001.

#### 6.6.2 Cambios en la categoría de selva interior de 2001 a 2011

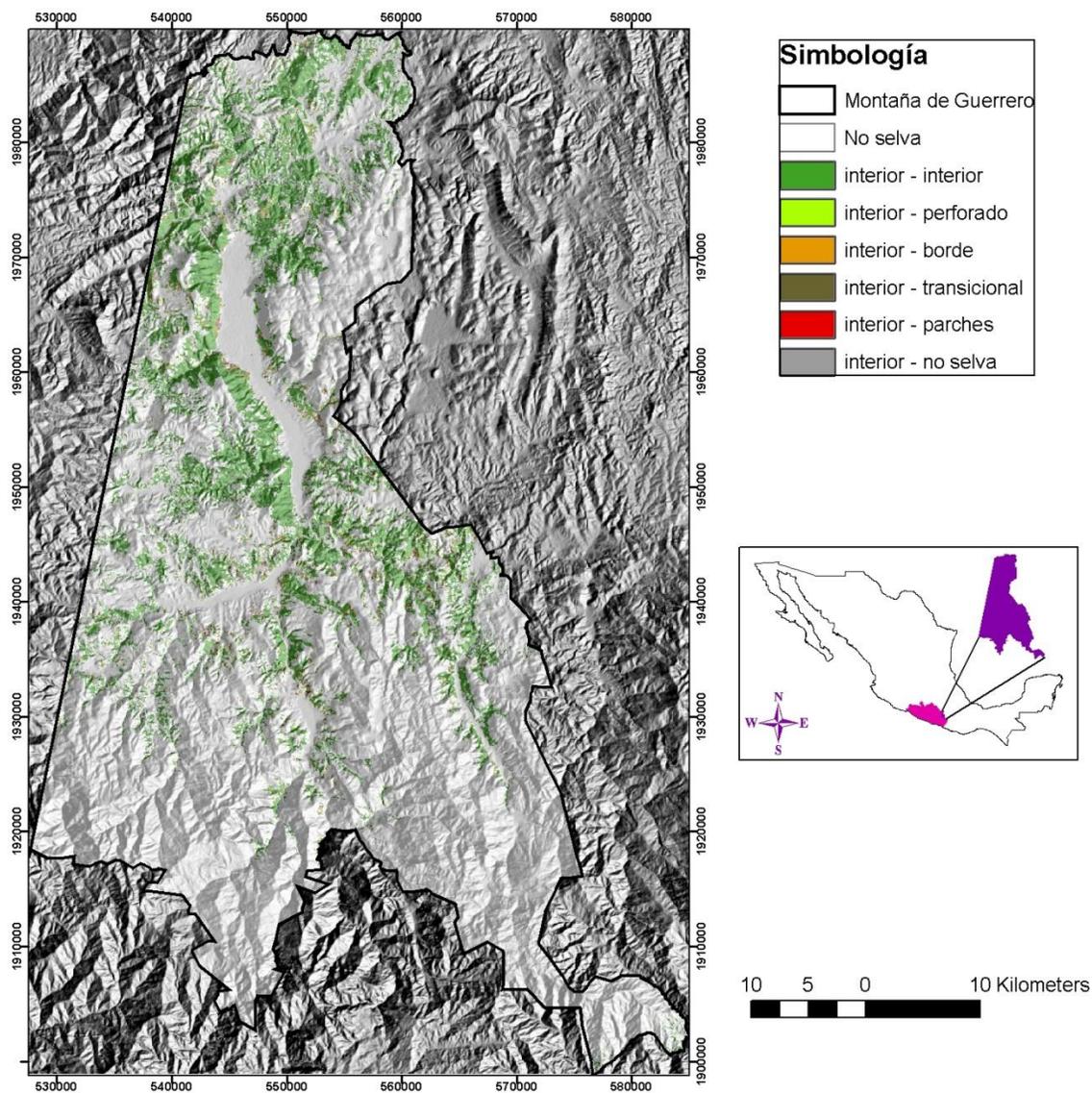
Para el segundo periodo de estudio que comprende de 2001 a 2011, la selva interior que permaneció sin cambios representaba el 88.51%. El mayor cambio de esta categoría al igual que en el periodo anterior fue la transformación a selva perforada, el cual representó el 5.20%.

El resto de las transformaciones a otras categorías de fragmentación superó el 1.5%. La pérdida directa de selva interior a no selva fue de 1.04% (Figura 28 y Figura 29).



**Figura 28.** Tasas de cambio de las categorías de fragmentación de la selva baja caducifolia entre 2001 y 2011. F = fragmentación.

## Cambios en la selva interior de 2001 a 2011



**Figura 29.** Mapa de cambios en la categoría de selva interior de 2001 a 2011.

### *6.7. Análisis de los factores causales de cambio en la región de La Montaña*

El objetivo de este análisis fue explorar algunos de los factores que pueden tener una relación con la dinámica de cambio del paisaje de la región de La Montaña de Guerrero. De acuerdo a los resultados se encontró una correlación con varias variables, con valores significativos, sin embargo, la mayor parte de los

modelos fueron poco robustos, pues sólo en algunas variables de accesibilidad (Infraestructura y biofísicas) la  $R^2$  superó el 0.85 (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Resultados de los modelos de regresión lineal para 2001 y 2011. Pob = población, Sup = superficie, Ag y Pz = agricultura y pastizales, SBC = selva baja caducifolia, reg = regeneración.

Año	Categoría	Variable independiente	Variable dependiente	R <sup>2</sup>	Correlación de Pearson	Significancia p < 0.05
2001	Demográficas	Pob de 0-14 años	Sup Ag y Pz	0.6141	0.7836	0.0371
2011		Pob de 0-14 años	Sup Ag y Pz	0.6085	0.7801	0.0385
2001		Pob de 65 o mas	Sup SBC	0.6199	0.7873	0.0356
2001		Pob de 65 o mas	Sup Selva interior	0.6028	0.7764	0.0401
2001	Educación	Pob no sabe leer	Sup Ag y Pz	0.691	0.8312	0.0205
2011		Pob no sabe leer	Sup Ag y Pz	0.6506	0.8066	0.0284
2011		Pob sin escolaridad	Sup Ag y Pz	0.7691	0.877	0.0095
2001		Económicas	Índice de marginación	Sup SBC	0.6136	-0.7833
2011	Índice de marginación		Sup SBC	0.6228	-0.7892	0.0349
2001		Índice de marginación	Sup Selva interior	0.6664	-0.8163	0.0251
2011		Índice de marginación	Sup Selva interior	0.6834	-0.8267	0.0218
2001	Culturales	No habla español	Sup Ag y Pz	0.6539	0.8086	0.0277
2011		No habla español	Sup Ag y Pz	0.644	0.8025	0.0298
2011	Infraestructura	Distancia a poblados	Sup SBC reg	0.927	0.9628	0.0372
2011		Distancia a poblados	Sup SBC	0.9517	0.9756	0.0244
2001		Distancia a caminos rurales	Sup SBC reg	0.9949	-0.9974	0.0457
2011		Distancia a caminos rurales	Sup SBC reg	0.7481	-0.8649	0.0538
2001		Distancia a carretera federal	Sup SBC reg	0.8707	0.9331	0.0497
2011		Distancia a carretera federal	Sup SBC reg	0.8309	0.9115	0.0527
2001	Biofísicas	Distancia a cuerpos de agua	Sup SBC	0.9975	-0.9987	0.032
2001		Distancia a cuerpos de agua	Sup SBC reg	0.9804	-0.9902	0.0521
2011		Distancia a cuerpos de agua	Sup SBC reg	0.8887	-0.9427	0.0216

### *6.7.1 Factores causales de la expansión de la agricultura y los pastizales*

De las veinte variables analizadas se encontró una correlación y significancia estadística entre la expansión de la agricultura y los pastizales y cuatro de estas variables: una demográfica, dos de educación, una cultural, estas variables son; población total por municipio de 0 a 14 años de edad, número de pobladores que no sabe leer, número de pobladores que no tienen escolaridad (sin educación primaria concluida) y número de pobladores que no habla español. Sin embargo, en todos los casos el ajuste al modelo lineal no fue muy robusto, puesto que los valores de la  $R^2$  oscilaron entre 0.6 y 0.7.

Otra variable de educación que resultó tener un alto valor de correlación con la expansión de la agricultura y los pastizales es el número de pobladores que no sabe leer. A mayor número de pobladores que no sabe leer, mayor expansión de agricultura y pastizales. La variable cultural del número de pobladores que no hablan español fue otra que mostró correlación y significancia estadística, al igual que el número de pobladores con edad entre 0 y 14 años de edad, pero ninguno de estos modelos mostró un buen ajuste.

### *6.7.2 Factores causales de cambios de la selva baja caducifolia*

#### *6.7.2.1 Factores causales de pérdida de la selva baja caducifolia*

De las veinte variables analizadas sólo el índice de marginación municipal se correlacionó con la pérdida de la selva baja caducifolia para ambas fechas (2001 y 2011). Esto podría sugerir que a mayor índice de marginación, mayor pérdida de SBC, pero a pesar de que el valor de correlación fue alto, el modelo no fue muy robusto.

Para el año 2001 se encontró una correlación negativa con otra variable; distancia a cuerpos de agua. Este modelo si mostró un buen ajuste, ya que el

valor de  $R^2$  fue de 0.9975. Para ese mismo año se encontró una correlación con la población mayor a 65 años, siendo esta positiva, es decir a mayor número de pobladores con una edad mayor a 65 años, mayor selva baja caducifolia, sin embargo, para el año 2011 esta relación no presentó significancia estadística; además, en ambos casos los modelos no mostraron el mejor ajuste. Otra variable que mostró una correlación positiva con la superficie de SBC únicamente para el año 2010 fue la distancia a los poblados, a mayor distancia a los poblados, mayor superficie de SBC. La correlación ( $r$ ) fue de 0.9756, con una  $R^2$  de 0.9517.

#### *6.7.2.2 Factores causales de la regeneración de la selva baja caducifolia*

El incremento de la superficie de la selva baja caducifolia en regeneración mostró una correlación positiva con dos variables, distancia a poblados y distancia a la carretera federal. En ambos casos los modelos mostraron un buen ajuste, ya que el valor de  $R^2$  superó el 0.85, y en el caso del modelo del año 2011 y la distancia a los poblados este valor alcanzó el 0.927. Por otro lado mostró una correlación negativa con otras dos variables; distancia a cuerpos de agua y distancia a caminos rurales, mostrando también un buen ajuste. Esto sugiere que a mayor distancia a cuerpos de agua y mayor distancia a caminos rurales, menor superficie de SBC en regeneración.

#### *6.7.3 Factores causales de la fragmentación de la selva baja caducifolia*

De las seis categorías de fragmentación clasificadas, sólo una de ellas mostró una correlación con dos factores explicativos de cambio analizados, esta categoría fue la selva interior. Los factores fueron el índice de marginación y el número de pobladores con una edad mayor a 65 años, esta última únicamente para el año 2001, pero al igual que la mayor parte de los casos, los modelos no mostraron un buen ajuste.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 Dinámica del paisaje de la región de La Montaña de Guerrero

Los resultados del análisis multi-temporal del presente trabajo permitieron reconocer que se está dando un reacomodo de los elementos que conforman el paisaje de la zona cálida de la región de La Montaña en Guerrero; en el cual existen pérdidas de vegetación con una edad mayor a veinte años, pero también regeneraciones.

Como consecuencia de esto las categorías de vegetación forestal presentaron pérdidas netas igual a cero en ambos periodos de estudio (de 1993 a 2001 y de 2001 a 2011), ya que las pérdidas que se dan son similares en superficie a las regeneraciones de vegetación forestal que se dan en la zona. Esta información difiere de la reportada hasta el momento para la región, la cual indica que se está dando un incremento en la deforestación (Landa, 1992; González, 1996; Mur, 1996; Figueroa, 2002). Dicha discordancia puede ser debida a la diferencia de escalas espaciales y temporales, así como a las diferencias metodológicas de este estudio con respecto a los demás, ya que para que puedan ser comparables los trabajos de cambios en la cobertura terrestre deben tener las mismas escalas de trabajo y una metodología de elaboración estandarizada (Chuvienco, 2002; FRA, 2010).

El análisis de transiciones entre las coberturas clasificadas ayudó a identificar que el factor directo de cambio más importante es la agricultura y los pastizales, ya que la pérdida de las áreas forestales está dada principalmente por la apertura de estas áreas de producción, pero la regeneración de la cobertura forestal también está relacionada con estas áreas, ya sea por abandono o por descanso, tal como sucede en la mayor parte de los países tropicales (Andrade de Sá *et al.*, 2013).

Este resultado sugiere dos alternativas, la primera es que el sistema de barbecho de la actividad productiva es el que genera la modificación de los elementos del paisaje. Dentro de las características de este sistema de rotación sectorial o migratoria, se encuentra el descanso de la tierra durante periodos que pueden ir desde los tres hasta los veinte años o más, mientras se trabajan otras porciones del territorio (Orlove *et al.*, 1996; Cervantes, 2005).

De esta manera, podría ser que la mayor parte de las áreas de vegetación secundaria o en descanso de la región de La Montaña, pertenecen a un sistema de producción migratoria, principalmente agrícola, común en países como México, Perú y Venezuela (Watters, 1971).

La segunda alternativa al incremento de la superficie de la vegetación en regeneración es que se esté dando un abandono de las actividades del sector primario (Landa, 1992; Cervantes, 2005). En la región de La Montaña, las actividades agropecuarias son principalmente de subsistencia, y solo un reducido grupo de productores comercializa, generalmente a nivel local e incluso mediante el intercambio de productos (SAGARPA, 2011).

Esto coloca a los productores de autoconsumo como el grupo más vulnerable y de situación de pobreza extrema, cuyo ingreso bruto promedio anual es de \$28,181.00 cifra que está por debajo del umbral de pobreza que es de 30 mil pesos anuales (CONEVAL 2012). Debido a estos bajos ingresos económicos y otros factores, la región cuenta con una de las más altas tasas de migración del Estado (INEGI, 2000; INEGI, 2010), por lo que se puede estar dando un abandono de las tierras de producción agropecuaria.

El incremento de la vegetación en regeneración se basa en el inicio de un proceso de sucesión (Odum, 1971). En condiciones favorables, las zonas forestales en regeneración pueden funcionar como hábitat complementario para ciertas especies, e incrementar la conectividad entre los remanentes forestales

(Meyfroit y Lambin, 2011). Estas zonas en regeneración son importantes ya que puede mitigar los impactos ambientales de la deforestación y degradación forestal (Lamb *et al.*, 2005; Chazdon, 2008), especialmente para el almacenamiento de carbono y la estabilidad hidrológica (Ilstedt *et al.*, 2007).

El hecho de que se esté dando un cambio en la estructura del paisaje sin pérdidas netas de la vegetación forestal, dado que la tasa de regeneración es mayor que la tasa de pérdida, sugiere que no existe una demanda creciente por tierras de producción, ya que como se mencionó anteriormente, estas son principalmente de subsistencia (SAGARPA, 2011), por lo cual la necesidad de tierras de cultivo y pastoreo se mantiene (en las tres fechas analizadas no superó el 32% de la superficie del área de estudio), e inclusive en determinados lugares ha disminuido, como es el caso de los municipios de Alcozauca de Guerrero, Huamuxtitlán y Xochihuehuetlán

## *7.2 Cambios y Fragmentación de la selva baja caducifolia*

Los estudios sobre los cambios en la cobertura forestal tienden a centrarse en la identificación de los efectos directos tales como la deforestación. Sin embargo, existen otras presiones adicionales que están asociadas al resultado de la pérdida de la cobertura forestal, como son los cambios en la estructura del paisaje y las consecuentes modificaciones en los patrones de distribución de las especies (Mora *et al.*, 2008).

Con base en la idea anterior, se puede decir que los resultados obtenidos en este trabajo muestran que se está dando un cambio en la configuración del paisaje, que es reflejado en el incremento en la fragmentación de la cobertura forestal dominante, la SBC. Este proceso ocurre en vez de que se esté dando un proceso de deforestación como se reporta para otras selvas secas del país (Ceballos y García, 1995; Masera *et al.*, 1997; Trejo y Dirzo, 2000) e inclusive para

las mismas selvas de la región (Landa, 1992; González, 1996; Mur, 1996; Figueroa, 2002).

De acuerdo con diversos estudios, la pérdida de la SBC está relacionada con el incremento de la agricultura y los pastizales para el pastoreo, principalmente caprino (Ceballos y García, 1995; Trejo y Dirzo, 2000; Carranza-Montaña *et al.*, 2002), como resultado de esto se da un aumento de la vegetación secundaria donde existe dominancia de arbustos y pastizales, lo cual resulta un problema ecológico ya que limita la regeneración de la selva (Rzedowski y Calderón, 1987; Trejo y Dirzo, 2000).

En relación a la fragmentación de la SBC, la categoría de selva interior fue la que presentó mayores pérdidas. Esto se debe a que el análisis de fragmentación se realizó únicamente para la selva con una edad mayor a veinte años, sin tomar en cuenta las superficies de selva en regeneración, con el propósito de proponer las áreas de selva interior como áreas de conservación, y las áreas de fragmentación transicional como áreas de regeneración o restauración.

Esto permitiría reintegrar estas áreas a condiciones de arbolado interior, lo que implicaría un incremento del 11.38% para esta categoría, ya que las áreas de fragmentación transicional en teoría se identifican como áreas potenciales de regeneración de la cobertura forestal (Mora *et al.*, 2008).

De las cuatro categorías de fragmentación, los parches fueron los que presentaron un mayor incremento durante las tres fechas de estudio, lo que puede ser grave porque indica una pérdida de hábitat y de la conectividad estructural del mismo, al igual que el incremento de la fragmentación en parches, lo que indica una transformación de las áreas forestales a otros usos antrópicos (Mora, 2008; Li *et al.*, 2010).

De aquí la importancia del modelo de fragmentación de Riitters *et al.*, (2000), ya que permite ver los patrones de fragmentación espacialmente explícitos, desarrollar estrategias efectivas de conservación, mejorar la toma de decisiones sobre el uso de suelo y formular prácticas de manejo forestal ecológicamente sustentables. Como ejemplo de esto se propone que la identificación de las categorías de fragmentación puede ser útil para definir áreas de riesgo, y mejorar así las estrategias y planes de conservación, protección, restauración y otras clases de manejo ambiental (Li *et al.*, 2010).

### *7.3 Factores causales de cambio*

Los modelos realizados permitieron explorar la relación existente entre las superficies de las coberturas terrestres de la región y algunas variables independientes. El modelo de regresión lineal permite explorar la correlación entre dos variables, aunque no mostrar relaciones de causa efecto. A pesar de esto, la correlación indica que la relación no es contradictoria y puede ser válida, de tal forma que permite sentar las bases para realizar un análisis más profundo, tomando en cuenta que no sólo una variable influye en un fenómeno, si no que es consecuencia de procesos multifactoriales (Siegel y Castella, 1988; Wong y Lee, 2001).

La primera hipótesis del presente trabajo establece que la disminución de la selva baja caducifolia está correlacionada con el incremento de las áreas de agricultura y los pastizales, la densidad poblacional, el grado de marginación y el número de pobladores analfabetas.

Los resultados permitieron observar que la pérdida de las selvas secas está dada por la expansión de la agricultura y los pastizales como lo señalan diversos estudios (Landa, 1992; Carabias *et al.*, 1994; González, 1996; Mur, 1996; Trejo y Dirzo, 2000; Figueroa, 2002; Trejo, 2010; Orozco *et al.*, 2011). El segundo factor directo de la pérdida de la selva fueron las quemadas. En los ecosistemas tropicales

es común utilizar el fuego en las actividades agropecuarias, ya que su práctica favorece el rebrote del pasto que es utilizado para alimentar el ganado y para la germinación de algunas semillas de árboles (Eva y Fritz, 2003; Di Bella *et al.*, 2006; Wright *et al.*, 2007; Fajardo *et al.*, 2005; Portillo-Quintero y Sanchez-Azofeifa, 2010; Orozco *et al.*, 2011; Portillo-Quintero *et al.*, 2013).

Aunque se encontró una correlación negativa entre el índice de marginación municipal y la pérdida de la selva, el modelo no mostró un buen ajuste. Este índice de marginación es una medida de las carencias que padece una población, y se calcula en base a los resultados de los censos de población y vivienda, incluyendo parámetros como son educación, vivienda, ingresos monetarios y distribución de la población (CONAPO, 2012). La razón por la cual la mayor parte de los modelos mostraron una alta correlación y significancia estadística pero no un buen ajuste puede deberse a que se utilizaron sólo siete datos para correr los modelos, un dato por municipio, donde se relacionó la superficie arbolada o no arbolada de ese municipio con alguna variable independiente (ver Cuadro 4). El tamaño de la muestra es muy importante en estudios de correlación, ya que las muestras grandes aportan mayor información y una estimación más precisa (Morales, 2012).

El número de pobladores analfabetas también mostró una correlación con la pérdida de la selva baja caducifolia, y es que en teoría el analfabetismo limita las opciones de los pobladores para trabajar en otras actividades económicas alternativas a las actividades agropecuarias (INE, 2001).

Por el contrario, la densidad poblacional no mostró significancia estadística ni un alto valor de correlación con la disminución de la superficie de SBC. La teoría establece que el crecimiento poblacional ocasiona una demanda cada vez mayor de recursos, para satisfacer esta demanda las superficies forestales son sustituidas por terrenos dedicados al cultivo, la ganadería y complejos habitacionales (Saunders *et al.*, 2002; Luna, 2011; Temesgen *et al.*, 2013).

A pesar de que en la región la mayoría de los municipios tuvieron un incremento de la densidad poblacional, éste no superó el 0.1% y de hecho, los municipios de Tlalixtaquilla de Maldonado y Xochihuehuetlán tuvieron disminuciones en densidad de población (INEGI, 2000; 2010). Esto puede estar relacionado con el hecho de que la región de La Montaña es una de las zonas con mayor índice de migración del estado de Guerrero (Tlacinollan, 2012), por lo que el aumento poblacional no representa un factor de presión para los recursos forestales de la región.

Se encontró también que para el año 2001 el modelo de regresión lineal entre la superficie de selva y el número de pobladores mayores a 65 años, sí tuvo significancia. Sin embargo, esto pierde validez ya que para la última fecha el modelo no fue significativo, a pesar de que en el año 2010 el número de personas mayores a 65 años se incrementó.

El análisis de transiciones entre categorías permitió detectar que la pérdida de la SBC si está dada por la expansión de la agricultura y los pastizales, y si existe una correlación estadística con el grado de marginación y el número de pobladores analfabetas, pero no con la densidad poblacional. A pesar de las correlaciones detectadas, los modelos no mostraron buen ajuste, por lo que es necesario hacer un análisis más profundo.

La segunda hipótesis establece que la extensión de la superficie de selva baja caducifolia en regeneración se relaciona con las áreas de baja densidad poblacional, la lejanía a poblados y caminos y el incremento de la población mayor a 65 años.

De estos factores, solo se encontró correlación con la lejanía a los poblados y a la carretera federal. La cercanía a la infraestructura como poblados y caminos facilita el establecimiento de áreas dedicadas a la agricultura y los pastizales, ya que los trabajadores invierten menos tiempo en acceder a sus áreas de labor

(Sanders *et al.*, 2002). Pero esto no aplica para los caminos rurales, ya que a mayor distancia a estos, menor superficie de selva en regeneración.

En esta investigación, a diferencia de la mayor parte de los trabajos enfocados a reconocer las causas de la deforestación tropical (Paquette y Damon, 2003; Pinto-Ledezma, 2006; Kamusoko y Aniya, 2007; Xu *et al.*, 2013), no se encontró una correlación con respecto a la densidad de población, tanto para la superficie de selva mayor a 20 años como para la selva en regeneración.

Con respecto a la tercera hipótesis que postula que el incremento de la agricultura y pastizales está relacionado con el analfabetismo, el alto grado de marginación, y la densidad poblacional, se encontró una correlación con los primeros dos factores, aunque un poco baja con respecto a otras variables y sin un buen ajuste del modelo. Con respecto al número de individuos entre 0 y 14 años de edad y la extensión de la agricultura se encontró una correlación cercana al 0.80 y el modelo mostró significancia estadística, pero no un buen ajuste

En general los resultados muestran que las variables de accesibilidad ya sean de infraestructura o biofísicas, son las que tuvieron mayores valores de correlación y mejor robustez de los modelos. Diversos estudios establecen que el grado de accesibilidad es uno de los factores más importantes en la toma de decisiones de los pobladores sobre la deforestación (Gueist y Lambin, 2001; Sanderson *et al.*, 2002; Andrade de Sá *et al.*, 2013). En particular en la región de La Montaña, su intrincada topografía dificulta la accesibilidad a muchas áreas forestales (Landa, 1992; González, 1996; Mur, 1996; Cervantes, 2005).

A partir de los resultados anteriores se pueden distinguir correlaciones entre variables, sin embargo, se requiere un análisis más riguroso para poder distinguir relaciones de causalidad en los cambios observados en la dinámica del paisaje de la zona cálida de La Montaña de Guerrero, por lo que se recomienda hacer un

análisis con mayores datos multi-temporales y un planteamiento más riguroso para determinar las causas de estos cambios.

También se recomienda que se enfoquen esfuerzos para mejorar la calidad de vida y la educación de los pobladores, además de realizar estudios posteriores que permitan identificar si la regeneración de la vegetación es por el descanso de las tierras de producción o por el abandono, así como profundizar en las causas de los cambios observados, generar conocimiento sobre la composición de la biodiversidad de las diferentes categorías de fragmentación, con la finalidad de mejorar las bases para el establecimiento de estrategias para el manejo y la conservación de la selva baja caducifolia y el resto de las coberturas forestales de la región.

Los resultados sugieren que el grado de accesibilidad a las zonas es uno de los factores que más influyen en la toma de decisiones de los pobladores sobre transformar o conservar un área forestal, por lo que se propone que se haga un análisis más profundo al respecto.

A partir de los resultados obtenidos surgen nuevas preguntas de investigación: (i) ¿se está dando un abandono de las tierras agrícolas o son tierras que están en descanso? (ii) las variables que mostraron una alta correlación con la extensión de la superficie agrícola como son las variables de educación y marginación, ¿serán factores causales de la pérdida de la cobertura forestal?, (iii) ¿las áreas de fragmentación transicional serán las más adecuadas para realizar acciones de restauración?

## 8. CONCLUSIONES

- La dinámica del paisaje de la zona cálida de la región de La Montaña de Guerrero sugiere un reacomodo de los elementos que lo componen, donde existen pérdidas de la vegetación forestal pero también regeneraciones, por lo que los cambios netos de éstas categorías son positivos.
- Las trayectorias de cambio permitieron identificar que la pérdida de la vegetación mayor a veinte años se relacionó con el incremento de la agricultura y los pastizales.
- De acuerdo al análisis de transición entre categorías, el incremento de la superficie de vegetación forestal en regeneración se relacionó con el abandono o descanso de la agricultura y los pastizales, y con la regeneración de las áreas quemadas.
- Las variables que tienen una mayor correlación, significancia estadística y mejor ajuste del modelo con la permanencia y regeneración de la selva baja caducifolia son las variables de accesibilidad.
- Se encontró una fuerte correlación entre la extensión de la superficie de agricultura y pastizales y las variables de el número de pobladores que no sabe leer, el número de pobladores que no habla español, y el número de pobladores sin escolaridad, sin embargo el modelo de regresión lineal no mostró un buen ajuste.
- Se encontró una correlación entre la categoría de fragmentación de selva interior y el índice de marginación, pero los modelos no fueron robustos.
- Se sugiere que el grado de accesibilidad a las zonas es uno de los factores que más influyen en la toma de decisiones de los pobladores sobre transformar o conservar un área forestal, por lo que se propone que se haga un análisis más profundo al respecto.

## 9. LITERATURA CITADA

- Agarwal, C., G. M. Green, J. M., Grove, T. P., Evans y C. M. Schweik. 2002.** *A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice.* United States Department of Agriculture (USDA), 61 p.
- Aizen, M. A. y P. Feinsinger. 2004.** Forest Fragmentation, Pollination, and Plant Reproduction in a Chaco Dry Forest, Argentina. *Ecology*, Vol. 75, 2: 330-351.
- Andrade de Sá, S. C. Palmer y S. di Falco. 2013.** Dynamics of indirect land use change: Empirical evidence from Brazil. *Journal of Environmental Economics and Management*, 65: 377-393.
- Angelsen A, y D. Kaimowitz. 1999.** Rethinking the causes of deforestation: lessons from economic models. *World Bank Research Observer*, 14(1): 73–98.
- Arias, T. 1993.** Manejo y consumo de leña en el municipio rural de subsistencia: Alcozauca Guerrero. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Barbier E. B. 1997.** The economic determinants of land degradation in developing countries. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. London Ser., B 352:891–99.
- Barbier E. B. 2000.** Links between economic liberalization and rural resource degradation in the developing regions. *Agricultural Economics*, 23(3):299–310
- Batterbury S. P. J. y A. J. Bebbington. 1999.** Environmental histories, access to resources and landscape change: an introduction. *Land Degradation & Development*, 10(4):279–89
- Becker C. D. 1999.** Protecting a Garua forest in Ecuador: the role of institutions and ecosystem valuation. *Ambio*, 28(2):156– 61
- Bezaury, C. J. 2010.** Las selvas secas del Pacífico mexicano en el contexto mundial. Pp. 21–40, en: *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del oeste de México* (G. Ceballos, A.

García, L. Martínez, E. Espinosa, J. Bezaury y R. Dirzo, eds). CONABIO – UNAM, México D. F.

**Bocco, G., A. Velázquez y A. Torres. 2000.** Comunidades indígenas y manejo de recursos naturales: Un caso de investigación participativa en México. *Interciencia* 25:9-19.

**Bürgi, M., A. A. Hersperger y N. Schneeberger. 2004.** Driving forces of landscape change-current and new directions. *Landscape Ecology*, 19: 857–868.

**Búrquez, A., A. Martínez-Yrizar, M. E. Miller, K. Rojas, M. A. Quintana y D. Yerman. 1998.** Mexican grasslands and the changing aridlands of Mexico: an overview and a case study in northwestern Mexico., pp 21-32. En: *The future of arid grasslands; Identifying issues seeking solutions*. B. Telmann, D. Finch, C. Edminster y R. Hamre (eds.). Proceeding RMRS P 3, Fort Collins, CO. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Res. Stn.

**Carabias, J., Provencio E. y Toledo C. 1993.** Cultura Tradicional y Aprovechamiento Integral de Recursos Naturales en tres regiones indígenas de México. En Left E. y Carabias J. (Coord). *Cultura y Manejo Sustentable de Recursos Naturales no Renovables*. Vol. I. Editorial Porrúa. México.

**Carabias, J., E. Provencio y C. Toledo. 1994.** Manejo de recursos naturales y pobreza rural. Fondo de cultura económica S. A. de C. V. 138 pp.

**Carranza-Montaño, L. R. Sánchez Velásquez., M. R. Pineda-López y R. Cuevas-Guzmán. 2003.** Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la Sierra de Manantlán, México. *Agrociencia*, 37(2): 203-210.

**Casas, A., J.L. Viveros y J. Caballero. 1994.** *Etnobotánica mixteca*. Ed. Presencias. 366 pp.

**Ceballos, G. y D. Valenzuela. 2010.** Diversidad, Ecología y Conservación de los Mamíferos de Latinoamérica. Pp. 93–118, en: *Diversidad, amenazas y*

*áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del oeste de México* (G. Ceballos, A. García, L. Martínez, E. Espinosa, J. Bezaury y R. Dirzo, eds). CONABIO – UNAM, México D. F.

**Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel y R. Dirzo (eds). 2010.** *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 594 p.

**Ceballos, G. y A. García. 1995.** Conserving Neotropical biodiversity: the role of dry forests in Western Mexico. *Conservation Biology*, 9:1349-1353.

**Cervantes, G. M. V. 2008.** Estrategias de rehabilitación del ambiente natural y productivo en la comunidad indígena de San Nicolás Zoyatlán, Guerrero. 189-190 pp. En: *Capital Natural de México*, vol. III: Evolución de las políticas públicas de restauración ambiental. CONABIO, México.

**Cervantes, G. M. V. 2005.** *Un enfoque interdisciplinario para la restauración ambiental: Estudio de caso de una Comunidad Nahua del Sur de México*. Tesis de doctorado. UNAM. 300p.

**Cervantes, G. V., M. López G., N. Salas N. y G. Hernández C. 2001.** Técnicas para propagar especies nativas de selva baja caducifolia y criterios para establecer áreas de reforestación. Coordinación de Servicios Editoriales, Facultad de Ciencias, UNAM. 174 p.

**Chander, G. y B. Markham. 2003.** Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11): 2674- 2677.

**Chazdon, R. L. 2008.** Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, 320:1458–60.

**Chuvienco, E. 1996.** *Fundamentos de teledetección espacial*. Ediciones RIALP, S.A. Segunda edición. 451 p.

**Chuvienco, S. E. 2002.** *Teledetección ambiental. La conservación de la tierra desde el espacio*. Ariel Ciencia. 586 pp.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2006.** Mapa base del Estado de Guerrero En formato Geotiff. *Catálogo de metadatos geográficos*. Disponible en:  
<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> Consultado el: 19 de noviembre de 2013.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2010.** *Índice de marginación por Entidad Federativa y Municipio 2010*. Disponible en:  
[http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices\\_de\\_Marginacion\\_2010\\_por\\_entidad\\_federativa\\_y\\_municipio](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio) Consultado el: 25 de noviembre de 2013.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2005.** *Índice de marginación a nivel localidad 2005*. Disponible en:  
[http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice\\_de\\_marginacion\\_a\\_nivel\\_localidad\\_2005](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indice_de_marginacion_a_nivel_localidad_2005) Consultado el: 25 de noviembre de 2013.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2012.** Informe de pobreza y evaluación en el estado de Guerrero 2012. México, D.F.
- Deininger K. W. y B. Minten. 1999.** Poverty, policies, and deforestation: the case of Mexico. *Economic Development and Cultural Change*, 47(2): 313–44.
- Diario Oficial de la Federación. 2001.** *Norma Oficial Mexicana NOM-020-RECNAT-2001, Que establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo*. Disponible en:  
<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/CDs2007/CDAgropecuaria/pdf/80NOM.pdf> Consultado el 15 de enero de 2014.
- Di Bella, C.M., E. G. Jobbagy, J. M. Paruelo, y S. Pinnock. 2006.** Continental fire density patterns in South America. *Global Ecology and Biogeography*, 15: 192-199.
- Didham, K. R. 2010.** *Ecological Consequences of Habitat Fragmentation*. In: Encyclopedia of Life Sciences (ELS). John Wiley & Sons, Ltd: Chichester.1-11.

- Dirzo, R. y G. Ceballos. 2010.** Las selvas secas de México: un reservorio de biodiversidad y laboratorio viviente, 13-17. En: Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel y R. Dirzo (eds.). 2010. *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 594 p.
- Elith, J., S. J. Phillips, R. Hastie, M. Dudík, Y. E. Chee y C. J. Yates. 2011.** A statistical explanation of MaxEnt for ecologist. *Diversity and Distributions*, 17: 43-47.
- Eva, H. D., A. S. Belward, E. E. De Miranda, C. M. Di Bella, V. Gond, O. Huber, S. Jones, M. Sgrenzaroli y S. Fritz. 2004.** A land cover map of South America. *Global Change Biology*, 10 (5), 731-744.
- Fajardo, L., V. González, J. Nassar, P. Lacabana, C. Portillo-Quintero, F. Carrasquel y J. P. Rodríguez. 2005.** Tropical dry forests of Venezuela: characterization and current conservation status. *Biotropica*, 37 (4), 531-546.
- Fahrig, L. 2003.** Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic*, 34: 487- 515.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2003.** *Los factores de la deforestación y degradación de los bosques*. XII Congreso Forestal Mundial. Quebec City, Canadá.
- FRA (Global Forest Resources Assessments). 2010.** *Global forest resources assessment 2010*. Informe Nacional de México. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/20387-0de8a552bcd60dbd25944c77f5f096ced.pdf>  
Consultado el 7 de febrero de 2012
- Figuroa, D. E. M. F. 2002.** Análisis socioambiental en la Montaña de Guerrero: Un enfoque cuantitativo. *Tesis de Maestría*. Facultad de Ciencias, UNAM, 147 pp.
- Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda, J.A. Patz, I.C.**

- Prentice, N. Ramankutty, P.K. Snyder. 2005.** Global consequences of land use. *Science*, 309: 570-574.
- Forman R. T. T. 1995.** Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10, pp. 133–142.
- Forman, R. T. T. y M. Godron, 1986.** *Landscape ecology*. John Wiley and sons. New York.
- García, E. 1998.** "Climas (Clasificación de Koppen, modificado por García)". Escala 1:1 000 000. México.
- García M.T. y J.F. Mas. 2008.** Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas*, 67: 7-19.
- Geist, H. J. y E. F. Lambin. 2001.** What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. (LUCC Report Series; 4). 116 pp.
- Geist H. J. y E. F. Lambin. 2002.** Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience*, 52(2): 143–50.
- Gómez, M. A. M., J. A. Anaya y E. Álvarez, D. 2005.** Análisis de la fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central de los Andes Colombianos. *Revista de Ingenierías Universidad de Medellín*, 4 (7), 13-27 pp.
- González, C. C. 1996.** Cambios de uso de suelo y deterioro ambiental en comunidades campesinas en la región de la Montaña de Guerrero, México. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias, UNAM, 80 pp.
- Goodchild, M. F. 2008.** *Data Analysis Spatial*. En: Shekhar, S., H. Xiong (Eds). Encyclopedia of GIS. Springer Reference. 1392 pp.
- Granados, L. E., M. Mendoza y A. Acosta. 2002.** Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Gaceta Ecológica*, 64: 19-34.
- Guan, D., H. F. Li, T. Inohae, W. Su, T. Nagaie y K. Hokao. 2011.** Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*, 222: 3761 – 3772.

- Gucinski, H., M. J. Furniss, R. R. Ziemer y M. H. Brookes. 2001.** *Forest Roads: A Synthesis of Scientific Information*. Portland (OR): USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station. General Technical Report PNW-GTR, 509.
- Harbin, L., y J. Wu. 2003.** Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 19: 389–399.
- Harte, J. 2001.** Land use, biodiversity, and ecosystem integrity: The challenge of preserving Earth's life support system. *Ecology Law Quarterly*, 27: 929-965.
- Harrison, S. y L. Fahrig. 1995.** *Landscape pattern and population conservation*. En: Hansson L., L. Fahrig y G. Merriam (Eds.). 1995. *Mosaic Landscape and Ecological Processes*. Chapman y Hall, London.
- Hastings, A. 1990.** Spatial heterogeneity and ecological models. *Ecology*, 71, pp. 426–428.
- Hernández-Cárdenas, G., A. D. Toledo-Guzmán y G. F. Bernárdez-Rodríguez. 2013.** *Aplicaciones del algoritmo de Máxima Entropía para la clasificación de imágenes de satélite: análisis de estudios de caso*. En: Memorias del XIX Congreso Mexicano de Botánica 2013. Simposio: “Alcances y Retos de la Percepción Remota en el Estudio de la Vegetación”
- Hilty, J. A., W. Z. Lidicker Jr. y A. M. Merenlender. 2006.** *Corridor Ecology: The science and practice of linking landscapes for biodiversity conservation*. Washington, DC: Island Press, 324 pp.
- Hoekstra, J.M., T.M. Boucher, T.H. Ricketts y C. Roberts. 2005.** Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology Letters*, 8: 23-29.
- Houghton, R. A. 1991.** Tropical deforestation and atmospheric carbon dioxide. *Climatic Change*, 19: 99-118.
- Ilstedt, U., A. Malmer, E. Verbeeten y D. Murdiyarso. 2007.** The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: a systematic review and meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 251:45–51.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2001.** *Pobreza y Degradación Ambiental: Un Enfoque de Acervos*. Universidad Iberoamericana Disponible en:

[http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/degradacion\\_amb.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/degradacion_amb.pdf) Consultado el 13 de enero de 2014.

**Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2000.** Marco Geoestadístico Municipal. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000.

**Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2005.** Guía para la Interpretación de la Cartografía Uso del Suelo y Vegetación. Disponible en: [http://www.inegi.gob.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/sueloyveg/USOSUEVEGI.pdf](http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/sueloyveg/USOSUEVEGI.pdf) Consultado el 6 de marzo de 2014.

**Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010.** Resultados del Censo de Población y Vivienda 2010. Tabulados del cuestionario básico. Disponible en:

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=27302&s=est>

Consultado el 29 de noviembre de 2013.

**Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2011a.** Perspectiva estadística de Guerrero. Disponible en:

<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/.../perspectivas/perspectiva-gro.pdf>

Consultado el 16 de agosto de 2012

**Irastorza, V. P. 2006.** Integración de la ecología del paisaje en la planificación territorial. Aplicación a la comunidad de Madrid. *Tesis Doctoral*. Madrid, España.

**Kamusoko, C. y M. Aniya. 2007.** Land use/cover change and landscape fragmentation analysis in the Bindura district, Zimbabwe. *Land Degradation and Development* 18: 221-233.

**Kareiva, P. 1990.** Population dynamics in spatially complex environments: theory and data. *Philos. Trans. R. Soc. London B Biol. Sci.* 330, pp. 175–190.

**Kareiva, P. y U. Wennergren. 1995.** Connecting landscape patterns to ecosystem and population process. *Nature*, 373, pp. 299–302.

**Kondoh, M. 2003.** Habitat fragmentation resulting in overgrazing by herbivores. *Journal of theoretical Biology.* 225, pp. 453-460.

- Lamb, D., P. D. Erskine y J. A. Parrotta. 2005.** Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310:1628–32.
- Lambin, E. F. 1996.** Change Detection at Multiple Temporal Scales: Seasonal and Annual Variations in Landscape Variables. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, (62) 8: 931-938.
- Lambin, E.F., X. Baulies, N. Bockstael, G. Fischer, T. Krug, R Leemans, E. F. Moran, R. R. Rindfuss, Y Sato, D. Skole, B. L. II Turner, y C. Vogel. 1999.** *Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) Implementation Strategy*. A core project of the International Geosphere-Biosphere Programme and the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IGBP Report; 48/IHDP Report; 10). IGBP Secretariat: Stockholm & IHDP Secretariat: Bonn.
- Lambin, E. F., B. I. Turner, J. Helmut, S.B. Geist, S.B. Agbola, A. Arild, J.W. Bruce, , O.T. Coomes, R., Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P.S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E.F. Moran, M. Mortimore, P.S. Ramakrishnan, J.F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G.D. Stone, U. Svedin, T. Veldkamp, A. Vogel, y C. Xu. 2001.** The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*,11: 261–269.
- Lambin, E. F., H. J. Geist y E. Lepers. 2003.** Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annual Review of Environmental Resources*, 28: 205-241.
- Landa, R. 1989.** Análisis de la vegetación para determinar el efecto de la reforestación en una selva baja; Alcozauca, Guerrero. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 144 pp.
- Landa, R., 1992.** *Evaluación regional del deterioro ambiental de la Montaña de Guerrero*. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias-UNAM.
- Li, M., L. Mao, C. Zhou, J. E. Vogelmann y Z. Zhu. 2010.** Comparing forest fragmentation and its drivers in China and the USA with Globcover v2.2. *Journal of Environmental Management*, 91: 2572-2580.

- Lienert, J. 2004.** Habitat fragmentation effects on fitness of plants population- a review. *Journal for nature conservation*, 12, pp. 53-72.
- Loening, L. J. y M. Markussen.2003.** Pobreza, deforestación y sus eventuales implicaciones para la biodiversidad en Guatemala. *Economía, Sociedad y Territorio*, 4(14): 279-315.
- López-García, J. 2007.** *Análisis de cambio de la cobertura forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (2006 – 2007)*. Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca (WWF y FMCN). Agosto, 2007. México, D.F.
- Lott, J. E. y T. H. Atkinson. 2010.** *Diversidad florística*. En: Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel y R. Dirzo (eds). 2010. Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México. Fondo de Cultura Económica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 594 p.
- Lugo, A. 1992.** Tropical forest uses. In: Downing, T. E., S. B. Hecht, H. A. Pearson and C. García Downing (Eds.). *Development or Destruction*. Westview Press. San Francisco, CA. USA. pp. 117-132.
- Luna, F. V. G. 2011.** Análisis multitemporal de la dinámica en el cambio de uso del suelo rural-urbano en la región de Atlixco, Puebla. *Tesis de Doctorado*, Colegio de Pstgraduados. 270 pp.
- Lund, H. 2006.** *National forest inventories and global resource assessments*. In: *Forest and Forest Plants*, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). EOLSS Publishers, Ltd. Oxford, UK. pp. 29-65.
- Marcial, J. R. 2011.** Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en los servicios ambientales hidrológicos de la comunidad de Capulálpam de Méndez. *Tesis de Licenciatura*. Universidad de la Sierra de Juárez, Oaxaca.
- Márquez, R. I., B de Jong, A. Eastmond, S. Ochoa-Gaona, S. Hernández y M. D. Kantú. 2005.** *Estrategias productivas campesinas: un análisis de los factores condicionantes de cambio de uso de suelo en el oriente de Tabasco, México*. Universidad y Ciencia, 21 (42): 57-73.

- Masera, O., M. Ordoñez y R. Dirzo. 1992.** Carbon emissions from deforestation in Mexico: current situation and long-term scenarios. *Global Environmental Change*, 35: 265-295.
- Masera, O., M. J. Ordóñez y R. Dirzo. 1997.** Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long term scenarios. *Climatic Change*, 35: 256-259.
- Maass, M., A. Búrquez, I. Trejo, D. Valenzuela, M. A. González, M. Rodríguez y H. Arias. 2010.** Amenazas. En: Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel y R. Dirzo (eds.). 2010. *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 594 p.
- Malthus, T. R. 1798.** *An Essay on the Principle of Population*. London, Printed for J. Johnson, In St. Paul's Church-Yard. Disponible en: <http://socserv2.socsci.mcmaster.ca/~econ/ugcm/3ll3/malthus/popu.txt>  
Consultado el 10 de octubre de 2013.
- McGarigal, K. 2002.** *Landscape pattern metrics*. 2, pp 1135-1142 in A. H. El-Shaarawi and W. W. Piegorsch, eds. *Encyclopedia of Environmetrics*. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- McCracken S. D., E. S. Brondizio, D. Nelson, E. F. Moran, A. D. Siqueira y C. Rodriguez-Pedraza. 1999.** Remote sensing and GIS at farm property level: demography and deforestation in the Brazilian Amazon. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(11):1311–1320.
- McGarigal, K. y W. C. McComb. 1999.** *Forest fragmentation effects on breeding birds in the Oregon Coast Range*. En: *Forest fragmentation: Wildlife and management implications*, eds. J. A. Rochelle, L. A. Lehman y J. Wisniewski, Leiden, The Netherlands: Koninklijke Brill NV. pp. 223-246.
- Meffe, G. y C. Carroll. 1994.** *Principles of conservation biology*. Sinauer Associates, Inc. Stamford, CT. USA. pp. 237-264.

- Meyfroit, P. y E. F. Lambin. 2011.** Global Forest Transition Prospects for an End to Deforestation. *Annual Review of Environment and Resources*, 36: 343-371.
- Meli, P. 2003.** Restauración ecológica de bosques tropicales. Veinte años de investigación académica. *Interciencia* 28(010): 581-589.
- Menesses, T. C. L. 2009.** *Estudios de caso sobre la evaluación de la degradación de los bosques. Análisis del Índice Normalizado de la Vegetación (NDVI) para la detección de degradación de la cubierta forestal en México 2008-2009.* Documento de trabajo 173 del Programa de Evaluación de los Recursos Forestales. FAO. Roma, Italia, 2009. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/k8593s/k8593s00.pdf> Consultado el 01 de noviembre de 2013.
- Meyer, W. B. y B. L. Turner II. 1994.** *Global land use and land-cover change: report of working group A.* En: Meyer, W. B. y B. L. Turner II (eds.) 1994. *Changes in land use and land cover: a global perspective.* Cambridge University Press.
- Miles, L., A.C. Newton, R.S. DeFries, C. Ravilious, I. May, S. Blyth, V. Kapos y J.E. Gordon. 2006.** A global overview of the conservation status of tropical dry forest. *Journal of Biogeography*, 33: 491-505.
- Miranda, F. y E. Hernández X. 1963.** Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 28: 29-178.
- Mora, F. 2008.** Caracterización de la cobertura forestal en el Corredor Biológico Mesoamericano - México: Patrones Espaciales en la Pérdida y Fragmentación de Bosques. En: CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) y CentroGeo (Centro de Investigación en Geografía y Geomática). *Importancia del capital ecológico de la región del Corredor Biológico Mesoamericano – México*, 95 pp.
- Mora, F., P. Rodríguez y O. Tapia. 2008.** **Elementos de diseño para un sistema de monitoreo regional del Corredor Biológico Mesoamericano – México.** En: CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) y CentroGeo (Centro de Investigación en Geografía y

Geomática). *Importancia del capital ecológico de la región del Corredor Biológico Mesoamericano – México*, 95 pp.

**Morales, V. P. 2012.** Tamaño necesario de la muestra: ¿Cuántos sujetos necesitamos?. Estadística aplicada a las ciencias sociales, 24 p. Disponible: <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/Tama%F1oMuestra.pdf>

**Música, G. M., F. J. V. de Lucio, A. C. Martínez, O. P. Sastre, M. J. A. Aauri, y O. C. Montes. 2002.** *Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos*. DGERENP de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. Andalucía, España. 124 p.

**Muñoz, C. y A. Guevara. 1995.** *La Dinámica de la Pobreza y Medio Ambiente. Agricultura y Medio Ambiente*. Madrid, España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

**Mur, F. P. 1996.** Caracterización del deterioro ambiental en comunidades rurales en la región de la Montaña de Guerrero, México. *Tesis de Licenciatura*. Facultad de Ciencias, UNAM, 176 pp.

**Murcia, C. 1995.** Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Trends Ecological Evolution*, 10: 58-62.

**Myers N. y J. Kent. 2001.** *Perverse Subsidies: How Tax Dollars Can Undercut the Environment and the Economy*. Washington, DC: Island. 277 pp.

**Nájera, G. O., J. I. Bojórquez, J. L. Cifuentes y S. Marcelleño. 2010.** Cambios en la cobertura y uso del suelo en la Cuenca del Río Mololoa, Nayarit. *Revista Bio Ciencias*, (1) 1: 19 - 29.

**Nee, S., R.M. May y M.P. Hassell. 1997.** *Two species metapopulation models*. En: Hanski, I., Gilpin, M. (Eds.), *Metapopulation Biology, Genetics and Evolution*. Academic Press, San Diego, pp. 123–147.

**Neel, M. C. K. McGarigal y S. A. 2004.** Cushman. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. *Landscape Ecology*, 19, pp. 435–455.

**Noble, I. R. y R. Dirzo. 1997.** Forest as human dominated ecosystem. *Science*, 277:522-525.

- Odum, H. T. 1971.** *Environment, Power, and Society*. New York: Wiley.
- Olson, D. M., E. Dinerstein, R. Abell, T. Allnutt, C. Carpenter, L. McClenachan, J. D'Amico, P. Hurley, K. Kassem, H. Strand, M. Taye y M. Thieme. 2000.** *The Global 2000: A Representation Approach to Conserving the Earth's Distinctive Ecoregions*. World Wildlife Fund.
- Ojima D. S., K. A. Galvin y B. L. Turner II. 1994.** The global impact of land-use change. *BioScience*, 44(5):300–4
- Orlove, B., R. Godoy y P. Morlon, 1996.** Sistemas de barbecho sectorial. En *Comprender la agricultura campesina en los Andes Centrales: Perú y Bolivia*, P. Morlon (Ed.), pp. 86-117. Instituto Francés de Estudios Andinos y Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas, Lima.
- Orozco, H. M. E., P. Mireles L., M. E. Valdez P. y V. Peña M. 2011.** Incendios forestales y degradación de los ecosistemas terrestres: Impactos locales y emisiones globales. Exploración de la situación en el Estado de México. *Revista Geográfica de América Central*, 21pp.
- Ostrom E., J. Burger, C. B. Field, R. B. Noorgaard y D. Policansky. 1999.** Sustainability—revisiting the commons: local lessons, global challenges. *Science* 284:278–282.
- Otegui-Acha, M. 2007.** *Developing and testing a methodology and tools for the inventorying of sacred natural sites of indigenous and tradicional peoples in Mexico*. ALCOA, UICN, Pronatura México A. C., Fundación Rigoberta Menchu Tum. México, D. F. México. 109 p.
- Pan, Y., A. Roth, Z. Yu y R. Dolushitz. 2010.** The impact of variation in scale on the behavior of a cellular automata used for land use change modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34: 400 – 408.
- Paquete, S. y G. Damon. 2003.** Changing ruralities, changing landscapes: exploring social recomposition using a multi-scale approach. *Journal of Rural Studies*, 19: 425-444.
- Paudel, S. y F. Yuan. 2012.** Assessing landscape changes and dynamics using patch analysis and GIS modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 16: 66-76.

- Peña, L. J. 2007.** *Efectos ecológicos de los cambios de coberturas y usos del suelo en la Marina Baixa (Alicante)*. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, España, 558 pp.
- Peterson-Zwane, A.** Does poverty constrain deforestation? Econometric evidence from Peru. *Journal of Development Economics*, 84: 330-349.
- Phillips, S. J., R. P. Anderson y R. E. Schapire. 2006.** Maximum entropy modeling for species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- Pichón F. J. 1997.** Settler households and land-use patterns in the Amazon frontier: farm-level evidence from Ecuador. *World Development*, 25(1):67–91.
- Pinto-Ledezma, J. N. 2009.** Determinación de áreas especiales para la conservación de aves playeras neárticas. *Tesis de maestría en Manejo de Vida Silvestre*. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. 119 p.
- Portillo-Quintero, C. A. y G. A. Sánchez-Azofeifa. 2010.** Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biological Conservation*, 143: 144-155.
- Portillo-Quintero, C., A. Sánchez-Azofeifa y M. M. do Espirito-Santo. 2013.** Monitoring deforestation with MODIS Active Fires in Neotropical dry forests: An analysis of local-scale assessments in Mexico, Brazil and Bolivia. *Journal of Arid Environments*, 97: 150-159.
- Programa de Aprovechamiento Integral de Recursos Naturales (PAIR), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Comisión Económica para América Latina (CEPAL) y Gobierno del estado de Guerrero, 1992.** *Elementos para la incorporación de criterios ambientales a la planeación regional en la Montaña de Guerrero, México*. CEPAL/PNUMA, Serie técnica, Santiago de Chile.
- Reyes, H. H., R. M. Aguilar, R. J. Aguirre e I. Trejo. 2006.** Cambio en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones Geográficas*, 59: 26-42.

- Riitters, K., J. Wickham, R. O'Neill, B. Jones, and E. 2000.** Smith. Global-scale patterns of forest fragmentation. *Conservation Ecology* 4: 3. Disponible en: <http://www.consecol.org/vol4/iss2/art3>. Consultado el 14 de marzo de 2012.
- Rivero, A. 1994.** *La deforestación en la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Bárinas, utilizando imágenes Landsat MSS y TM. Periodo 1972-1988.* Caracas, Universidad Central de Venezuela, 146 pp.
- Rzedowski, J. 1988.** Vegetación de México. Limusa, México, D. F. 432 pp.
- Rzedowski, J. y G. Calderón. 1987.** El bosque tropical caducifolio de la región mexicana del Bajío. *Trace*, 12: 12-21.
- Sanderson, E. W., M. Jaithet, M. A. Levy, K. H. Redford, A. V. Wannebo y G. Woolmer. 2002.** The human footprint and the last of the wild. *Bioscience*, 52: (10) 891-904.
- Saunders, D, R. Hobbs and C. Margules. 1991.** Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*, 5: 18-32.
- Schlamadinger, B. and T. Karjalainen. 2000.** *Afforestation, reforestation, and deforestation (ARD) activities. In: Land Use, Land Use Change, and Forestry - A Special Report for the IPCC.* Chapter 3. Cambridge Press. New York, NY. USA. pp. 127-180.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2005.** *Listado de beneficiarios de PROCAMPO 2005.* Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Programas/procampo/Beneficiarios/Paginas/2005.aspx> Consultado el 27 de noviembre de 2013.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011a.** Diagnóstico sectorial del estado de Guerrero 2009. Consultado el 03 septiembre 2013. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/guerrero/Documents/Comit%C3%A9%20T%C3%A9cnico%20Estatel%20de%20Evaluaci%C3%B3n/Diagn%C3%B3stico%20Sectorial/DIAGNOSTICO%20SECTORIAL%202010-2011.pdf>

**Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011b.** *Listado de beneficiarios de PROCAMPO 2011.*

Disponible en:

<http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Programas/procampo/Beneficiarios/Paginas/2011.aspx> Consultado el 27 de noviembre de 2013.

**Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001.**

*Inventario Forestal Nacional 2000.* Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

**Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE). 2008.** *Análisis comparativo de la*

*deforestación de los ejidos de Marqués de Comillas y determinación de corredores biológicos que conecten los fragmentos de selva de los ejidos con la Reserva de la Biosfera, Segundo Informe. Avances. Coordinación del Programa de Cambio Climático, 17 p.*

**Siegel, S. y N. J. Castellan Jr. 1988.** *Nonparametric statistics.* McGraw-Hill International Editions, Statistics Series, 399 pp.

**Sohl, T. L., T. T. Loveland, B. M. Sleeter, K. L. Sayler y C. A. Barnes. 2010.**

Addressing foundational elements of regional land-use change forecasting. *Landscape Ecology*, 25:233–247.

**SPP, 1981.** *Atlas Nacional del Medio Físico. Cartas de uso de suelo y vegetación* escala 1: 1,000,000. Secretaría de Programación y Presupuesto, México.

**Taylor, A. D. 1990.** Metapopulations, dispersal, and predator–prey dynamics: an overview. *Ecology*, 71, pp. 429–433.

**Temesegen, H. J. Nyssen, A. Zenebe, N. Haregeweyn, M. Kindu, M. Lemenih y M. Haile. 2013.** Ecological secession and land use change in a lake retreat area (Main Ethiopia Rift Valley). *Journal of Arid Environments*, 91: 53-60.

**Teillet, P. M., B. Guindon y D. G. Goodeonug. 1982.** On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8: 84-106.

**Thies, C. y T. Tucharntke. 1999.** Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science*, 285, pp. 893–895.

- Tlachinollan (Centro de Derechos Humanos de la Montaña). 2012.** Informe alternativo de los Informes periódicos 16° y 17° que deberán presentarse por el Estado Mexicano para el Comité de las Naciones Unidas sobre la Eliminación de todas las Formas de Discriminación Racial.
- Toledo, C., E. Provencio y J. Carabias. 1992.** El manejo integrado y los precios del maíz: un estudio de caso en Alcozauca, Guerrero. En: Hewitt, C. (coord.) *Restauración económica y subsistencia rural. El maíz y la crisis de los ochenta*, El Colegio de México, UNRISD.
- Trejo, I., y R. Dirzo. 2000.** Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in México. *Biological Conservation*, 94:133–142.
- Trejo, I. 2010.** Las selvas secas del Pacífico Mexicano, pp 41-51. En: Ceballos, G., L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury-Creel y R. Dirzo (eds.). 2010. *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México*. Fondo de Cultura Económica, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 594 p.
- Troll, C. 1939.** Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde Zu Berlin*, 74, p. 241-298.
- Turner, M. G., O'Neill, R. V., Gardner, R. H., Milne, B. T., 1989.** Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 3:153-162.
- Turner, B.L. II, W. C. Clark, R. W. Kates, J. F. Richards, J. T. Mathews, y W.B. Meyer (Eds.) .1990.** *The earth as transformed by human action. Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years*. Cambridge University Press (with Clark University): Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne & Sydney.
- Turner, B.L. II y W.B., Meyer. 1994.** *Global Land-Use and Land-Cover Change: An Overview*. – in: MEYER, W.B. & B.L. TURNER II (Eds): *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. University of Cambridge: Cambridge, New York, Melbourne, pp. 3-10.
- Turner, M.G., R.H. Gardner y R. V. O'Neill. 2001.** *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Springer-Verlag, New York, NY, USA.

- Upton, V. C. O'Donoghue y M. Ryan. 2014.** The physical, economic and policy drivers of land conversion to forestry in Ireland. *Journal of Environmental Management*, 132: 79-86.
- Vázquez-Yanes, C., Orosco, S. A., Rojas, M., Sánchez, M. A. y Cervantes, V. 1997.** *La reproducción de las plantas: semillas y meristemos*. Fondo de Cultura Económica.
- Velázquez, A., J. F. Mas, R. Mayorga-Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, J. L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna-González, I. Trejo, J. López-Galicia, M. Palma, A. Peralta, J. Prado-Molina y F. González-Medrano. 2002a.** Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México. CONABIO. *Biodiversitas*, 41:8-15.
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Escurra y J. L. Palacio. 2002b.** Patrones y tasas de cambio de uso de suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 62:21-37.
- Veldkamp, A. y E. F. Lambin. 2001.** Predicting land use change. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 85: 1-6.
- Verburg, P. H., G. H. J. Kok, K. Veldkamp, A. Bouma y J. de Koning. 1999.** A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modelling*, 116: 45-61.
- Wang, D., J. Gong, L. Chen, L. Zhang, Y. Song y Y. Yue. 2012.** Spatio-temporal pattern analysis of land use/cover change trajectories in Xihe watershed. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14: 12–21.
- Watters, R. F. 1971.** *La Agricultura Migratoria de América Latina*. Roma, FAO, Cuadernos de Fomento Forestal N° 17, 342 pp.
- Whitmore, T. 1997.** *Tropical forest disturbance, disappearance and species loss*. Clarendon Press Ltd. Oxford, UK. 282 p.
- Whitmore, T and J. Sayer. 1992.** Deforestation and species extinction in tropical forest. In: *Tropical deforestation and species extinction*. IUCN. Chapman and Hall, Ltd. London, UK. pp. 1-14.

- Wong, D. W. S. y J. Lee. 2001.** *Statistical analysis of geographic information*. John Wiley & Sons, INC. 441 pp.
- Wright, S. J., G. A. Sanchez-Azofeifa, C. Portillo-Quintero y D. Davies. 2007.** Poverty and corruption compromise tropical forest reserves. *Ecological Applications*, 17 (5): 1259-1266.
- Wu, J., y R. Hobbs. (Eds.), 2007.** Key Topics in *Landscape Ecology*. University Press, Cambridge.
- Xu J, Fox J, Lu X, Podger N, Leisz S, Ai XH. 1999.** Effects of swidden cultivation, state policies, and customary institutions on land cover in a Hani village, Yunnan, China. *Mt. Res. Dev.* 19(2):123–32
- Xu, Y., P. McNamara, Y. Wu y Y. Dong. 2013.** An econometric analysis of change in arable land utilization using multinomial logit model in Pinggu district, Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 128: 324-334.

#### **Sitios Web consultados**

- 1 [http:// www.glovis.usgs.gov/](http://www.glovis.usgs.gov/)
- 2 [http:// www.srtm.csi.cgiar.org/](http://www.srtm.csi.cgiar.org/)