

Investigaciones Geográficas (Mx)

ISSN: 0188-4611

edito@igg.unam.mx

Instituto de Geografía

México

Osorio, Laura Paulina; Mas, Jean-François; Guerra, Francisco; Maass, Manuel
Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca
del río Coyuquilla, Guerrero, México

Investigaciones Geográficas (Mx), núm. 88, 2015, pp. 60-74

Instituto de Geografía

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56943187006>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México

Recibido: 13 de enero de 2014. Aceptado en versión final: 5 de agosto de 2014.

Laura Paulina Osorio*

Jean-François Mas*

Francisco Guerra*

Manuel Maass**

Resumen. El estudio analizó los cambios de cubierta y uso del suelo en la cuenca del río Coyuquilla, en Guerrero, México durante los periodos 1986-2000 y 2000-2011. Se elaboraron mapas de cubiertas y usos del suelo con base en la interpretación de imágenes de satélite. Durante el periodo 1986-2000 se observó una pérdida del 16% de la cubierta vegetal que afectó principalmente el bosque tropical seco con una tasa anual de deforestación de -3.7%. De 2000-2011 se observó una pérdida del 22% de cubierta vegetal y fue el bosque de encino, la cubierta que presentó la tasa más alta de deforestación (-5.54%). El incremento de los pastizales inducidos fue la principal causa de la pérdida de las cubiertas

forestales. La altitud, la distancia a carreteras, la distancia a localidades y la pendiente del terreno fueron indicadores importantes para explicar la deforestación en los tres tipos de bosque y los dos períodos analizados. La evaluación de los modelos probabilísticos a través del análisis ROC muestra que los resultados se encuentran muy por arriba de un modelo aleatorio y fueron capaces de identificar las áreas más propensas a los CCUS del siguiente periodo (2000-2011) para las ocho transiciones analizadas.

Palabras clave: Deforestación, modelos prospectivos, pesos de evidencia, análisis geo-estadístico.

Analysis and modeling of deforestation processes: a case study in the Coyuquilla River Basin, Guerrero, Mexico

Abstract. We analyzed land use / land cover changes (LUCC) in the basin of the river Coyuquilla in the state of Guerrero, Mexico during the periods 1986-2000 and 2000-2011. Land use / land cover maps for 1986, 2000 and 2011 were

elaborated using Landsat and SPOT images and previous cartography from the National Institute of Geography and Statistics (INEGI) and the National Forest Inventory. The analysis of the satellite images was carried out through

* Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA), Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia, Antigua Carretera a Pátzcuaro, No. 8701, Col. Ex Hacienda San José de la Huerta, 58190, Morelia, Michoacán. E-mail: jfmas@ciga.unam.mx

** Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco), Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro, No. 8701, Col. Ex Hacienda San José de la Huerta, 58190, Morelia, Michoacán.

Cómo citar:

Osorio, L. P., J.-F. Mas, F. Guerra y M. Maass (2015), “Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México”, *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 88, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 60-74, dx.doi.org/10.14350/ig.43853.

the method of interdependent interpretation of multi-date satellite data in order to assure the consistency of the classification. Maps' accuracy was assessed through the interpretation of a stratified random sample of verification sites. Census information from INEGI, which includes demographic and socioeconomic data, along with environmental data were gathered and integrated in a GIS database. The method of the weights of evidence was applied in order to identify the LUCC drivers and elaborate maps of change probability. These maps were evaluated using a receiver operating characteristic (ROC) analysis.

Overall map accuracy was 71%, 73% and 75% for 1986, 2000 and 2011 respectively. During the period 1986-2000, a loss of 16% of the forest cover that mainly affected the dry tropical forest with an annual deforestation rate of -3.7% was observed. During the period 2000-2011, a loss of 22% of forest cover was observed and oak forest was the cover with the highest deforestation rate (-5.54%). These results are consistent with previous studies in the region. The increase

of induced pasture was the main cause of the loss of forest cover. The elevation, distance to roads, distance to human settlements and the slope were important factors to explain deforestation in the three forest types and the two periods analyzed. The assessment of probabilistic models through the computing of the area under the ROC curve index gives index values between 0.61 and 0.92. These results are well above a random model and show that the models were able to identify the most likely to LUCC areas for the next period (2000-2011) for the eight analyzed transitions. Therefore, the model presents a reasonable performance in identifying the forest areas more likely to be cleared. However, in order to understand the processes of changes and their causes, the statistical approach must be complemented by a study based on a social science approach.

Key words: Deforestation, prospective models, weights of evidence, geo-statistical analysis.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se ha reconocido la necesidad de entender los factores que se asocian a los procesos de Cambio de Cubierta y Uso del Suelo (CCUS), con un especial énfasis en la deforestación, debido a las implicaciones ambientales como el calentamiento global, la pérdida de biodiversidad, la degradación de suelos, los cambios en la hidrología de cuencas y sobre el bienestar humano (Lambin *et al.*, 2001; Lambin y Geist, 2002). Las investigaciones se han concentrado en mejorar los sistemas de monitoreo de estos cambios, estudiar los procesos de cambio y desarrollar modelos para explorar escenarios futuros (Turner *et al.*, 1994; Lambin *et al.*, 2001; NRC, 2013). Los procesos de CCUS no solo involucran aspectos biofísicos (condiciones ambientales que propician un cambio de uso), también incluyen aspectos socioeconómicos (por ejemplo, aspectos demográficos y económicos; Lambin *et al.*, 2001). Se distinguen dos principales categorías que impulsan los procesos de CCUS: *a)* causas próximas y *b)* causas subyacentes. Los primeros constituyen las actividades humanas o acciones inmediatas que se derivan del uso del suelo y afectan directamente a la cubierta vegetal (tienen un efecto local); entre las actividades que se originan de esta acción están la extracción de madera, la expansión agropecuaria y la expansión de infraestructura. Las causas subyacentes son

fundamentales para el entendimiento de las causas próximas; entre los factores que la conforman están las variables sociales, demográficas, políticas y económicas que indirectamente impactan los procesos de CCUS (Lambin y Geist, 2002). La identificación de los factores asociados a los cambios es esencial para entender los procesos de CCUS y constituye uno de los desafíos en la investigación del análisis del cambio de cubierta y uso del suelo (ACCUS).

La cubierta vegetal de la cuenca del río Coyuquilla en el estado de Guerrero ha sido reducida en un 18% en los últimos años producto de la ampliación de las áreas agrícolas y, principalmente, el establecimiento de pastizales inducidos para ganado, estos últimos aumentaron de 28 a 45% de 1979 a 2000 (Durán *et al.*, 2011). A pesar de lo reportado, no se ha caracterizado a detalle (1:100 000) la dinámica de los procesos de deforestación y no se entienden claramente los factores ambientales y socioeconómicos que propician el proceso de deforestación en la zona. Por lo anterior, este trabajo tiene por objetivo evaluar la dinámica de los procesos de deforestación; identificar las relaciones de la deforestación con factores ambientales y socioeconómicos con la deforestación para cada una de las cubiertas vegetales presentes, así como desarrollar un modelo espacial prospectivo de los patrones de deforestación.

ÁREA EN ESTUDIO

La cuenca del río Coyuquilla se localiza en la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, al suroeste del estado de Guerrero, México, entre las coordenadas extremas $10^{\circ}53'45.40''$ N, $101^{\circ}09'11.88''$ O (esquina superior izquierda) y $17^{\circ}13'27.59''$ N, $100^{\circ}50'52.92''$ O (esquina inferior derecha; Figura 1). Abarca una superficie de 591 km^2 y comprende los municipios de Petatlán (78.2%), Técpán de Galeana (21.4%) y Coyuca de Catalán (0.4%). Presenta un gradiente altitudinal que va del nivel del mar a 2 519 msnm, lo que propicia la presencia de diferentes tipos de clima y de vegetación.

MATERIAL

Para elaborar los mapas de cubierta y uso del suelo se utilizaron imágenes satelitales Landsat MSS (14/05/1986), ETM+ (11/04/2000) y SPOT (9/02/2011) previamente procesadas (correcciones geométrica y radiométrica). Se emplearon como referencia los mapas de cubierta y uso del suelo a una escala 1:250 000 de la serie I (1976), serie II (1993) y serie IV (2007) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el mapa del

Inventario Forestal Nacional (IFN) 2000 (Palacio *et al.*, 2000). Las variables ambientales y socioeconómicas se obtuvieron de los censos de población 2000 y 2010 del INEGI y del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2012). Se utilizó un modelo digital de elevación del proyecto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM; www2.jpl.nasa.gov/srtm/). Para la clasificación de las imágenes satelitales y del análisis espacial se utilizaron los programas computacionales GeoVis (<http://www.geovis.net/>) y DINAMICA EGO (Soares *et al.*, 2002; <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>).

MÉTODOS

Tasas de cambio y matrices de transición

Se estableció un sistema clasificatorio para el análisis y cuantificación de los cambios que consistió en seis categorías de cubierta y uso de suelo: *a)* asentamientos humanos; *b)* pastizales inducidos *c)* agricultura de temporal; *d)* bosque tropical seco; *e)* bosque de encino y *f)* bosque mixto de pino y encino. Estas categorías se asignaron con base en el sistema clasificatorio del Inventario Forestal Nacional (IFN), realizado con base en el reagrupamiento de las categorías de los mapas de cubierta/

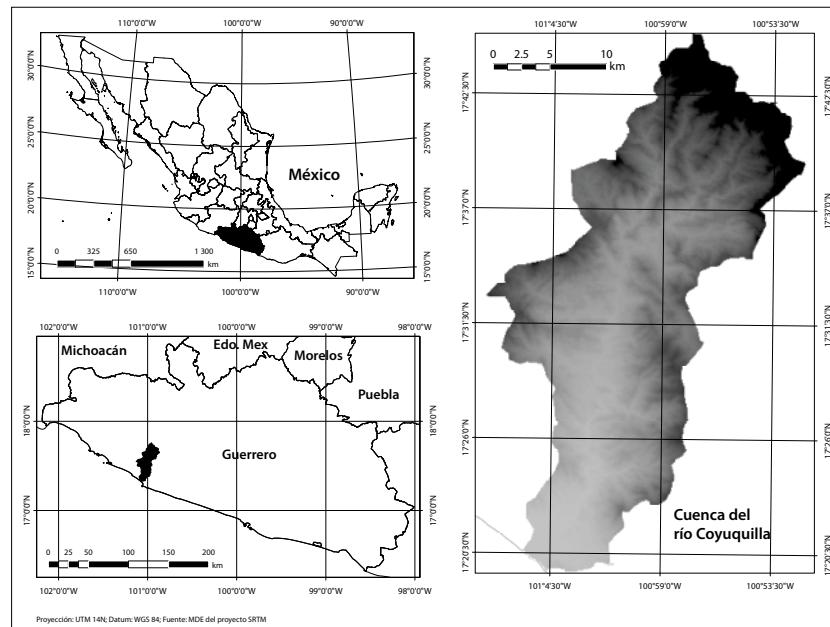


Figura 1. Localización de la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México.

(1)

uso del suelo de INEGI (Mas *et al.*, 2004). Las imágenes se interpretaron visualmente utilizando el método de interpretación interdependiente de la FAO (1996). Este método consiste en actualizar el mapa elaborado para una fecha interpretando la imagen de la fecha siguiente, lo cual garantiza la congruencia entre fechas (*Ibid.*). Se evaluó la fiabilidad de las distintas clasificaciones de cubierta vegetal y uso del suelo con base en un total de 255 sitios de verificación, con un mínimo de 50 sitios por categoría, seleccionados a través de un muestreo aleatorio estratificado e interpretados visualmente con imágenes de alta resolución (portal *Google Earth*). El tipo de muestreo permite determinar el número de sitios de verificación para cada estrato, que corresponde a cada una de las categorías en el mapa, garantizando así un número de sitios suficientes para cada una de ellas (Mas y Couturier, 2011). Se aplicó el método propuesto por Card (1982) para compensar el sesgo debido al muestreo estratificado, tomando en cuenta las superficies de cada una de las categorías consideradas. Con base en la sobreposición cartográfica de los mapas de cubierta/uso del suelo, se elaboraron mapas de CCUS y matrices de transición. Se calcularon, para los dos períodos de análisis (1986-2000, 2000-2011), las tasas de cambio utilizando la ecuación 1 propuesta por FAO (1995).

$$\delta = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{n/1} - 1$$

Donde δ es la tasa anual de cambio, S_1 es la superficie en la fecha 1, S_2 es la superficie en la fecha 2 y n es la diferencia de años entre las dos fechas.

Identificación de las variables ambientales y socioeconómicas que se asocian a la deforestación

Las variables socioeconómicas, a nivel de localidades, se espacializaron interpolando los valores con el método de la distancia inversa (IDW), el cual determina el valor de cada celda, utilizando un promedio de un conjunto de datos ponderado por el inverso de la distancia (Burrough y McDonnell, 1998). Este método se ha sugerido como el más

eficiente para la representación heterogénea de datos espaciales socioeconómicos y el análisis de la deforestación para la cuenca del río Coyuquilla (Farfán *et al.*, 2012). Para determinar cuáles variables ambientales y socioeconómicas actúan como conductoras de la deforestación se usó el método de los pesos de evidencia (Soares-Filho *et al.*, 2010). Los pesos de evidencia se basan en probabilidades condicionales y representan la influencia que tiene cada variable en la probabilidad de que ocurra una transición (por ejemplo, de bosque tropical seco a pastizal inducido). De este modo se puede asociar un peso de evidencia a cada categoría de las variables explicativas en cada transición. Los pesos de evidencia mayores a cero indican que la categoría favorece la transición, mientras que los valores negativos indican que inhibe la transición (Soares *et al.*, 2009 y 2010; Mas y Flamenco, 2011). Las variables explicativas que se analizan para los dos períodos de estudio (1986-2000 y 2000-2011) se resumen en la Tabla 1.

Modelación de los procesos de deforestación

Con base en los mapas de las cubiertas/usos del suelo del primer periodo (1986 y 2000), se evaluó, para cada transición, la probabilidad de cambio en relación con cada categoría de las variables explicativas a través del cálculo de los pesos de evidencia. Con respecto a los pesos de evidencia y a los mapas de las variables explicativas para el 2000, se elaboró un mapa de probabilidad de cambio para cada transición. Finalmente, se evaluó el grado de certeza del modelo con base en la comparación de las áreas que cambiaron o no, durante el periodo 2000-2011, y los mapas de las probabilidades del periodo 1986-2000 utilizando un análisis ROC (Característica de Operación Relativa; Camacho *et al.*, 2013). Este análisis evalúa la coincidencia de las probabilidades con la ocurrencia de cambio y permite el cálculo de un índice: el área debajo de la curva ROC (Pontius y Schneider, 2001; Mas *et al.*, 2013). Un modelo que genera un mapa de probabilidad donde las más altas probabilidades coinciden perfectamente con los cambios, arroja un índice de uno; un mapa de probabilidad aleatoria tendrá un índice de valor 0.5; mientras que un valor inferior a 0.5 indica un modelo sistemáticamente

Tabla 1. Variables ambientales y socioeconómicas empleadas para analizar su relación con la deforestación en los períodos 1986-2000 y 2000-2011

Variable	Abreviación	Significado de la variable	Fuente
Pendiente	PEND	Aptitud del terreno	Shuttle Radar Topography mission SRTM 2007 (NASA)
Altitud	ALT		Mapa edafológico, INEGI
Tipo de suelo	TSUEL		Mapa de rasgos hidrológicos, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
Distancia a ríos	DIST_RIOS		Interpretación visual
Distancia a carreteras	DIST_CARRE	Accesibilidad a cubiertas vegetales	Mapa de localidades INEGI, 2000; 2011
Distancia a localidades	DIST_LOC		INEGI, 2000; 2010
Población total	PT	Presión demográfica	
Proporción de población masculina	PM	Migración	
Proporción de población de 15 a 49 años	P15_49		CONAPO (2000)
Proporción de población analfabeta	PANA	Marginación	
Proporción de viviendas habitadas con piso de tierra	PISOT		
Proporción de población sin acceso a servicios de salud	PSS		INEGI, 2000; 2010
Proporción de población económicamente activa	PEA	Economía	

erróneo que tiende a asociar los cambios con las más bajas probabilidades.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mapas de cubiertas/usos del suelo, tasas de deforestación y matrices de cambio

La Figura 2 muestra los mapas (escala 1:100 000) de cubierta/uso del suelo para los años 1986, 2000 y 2011. La fiabilidad global de los mapas de cubierta y usos del suelo fueron de 71% para la imagen Landsat MSS, 73% para la imagen Landsat TM y 75% para la imagen SPOT. Los resultados del análisis de fiabilidad de las clasificaciones se encuentran dentro del rango aceptable usado en diversos estudios que emplean criterios espectrales y visuales para la interpretación de imágenes satelitales (Díaz

et al., 2010). Una de las principales limitantes del estudio fue que las imágenes de referencia tomadas del portal *Google Earth* no correspondían exactamente a la fecha de las imágenes utilizadas para las clasificaciones, por lo cual es posible que se haya subestimado la fiabilidad de los mapas.

La cubierta forestal de la cuenca del río Coyuilla ha sido reducida en un 38% en el periodo 1986-2011. En el primero (1986-2000) se registró una pérdida de cubierta forestal del 16%, presentando las mayores tasas anuales de pérdida para la cubierta bosque tropical seco (-3-71%) seguido del bosque de encino (-1-36%) y, por último, el bosque de pino-encino (-0.27%). En el segundo (2000-2011) se registró una pérdida del 22% de cubierta forestal, presentando las mayores tasas anuales de pérdida para el bosque de encino (-5-54%), seguido del bosque tropical seco (-4.53%) y el bosque de

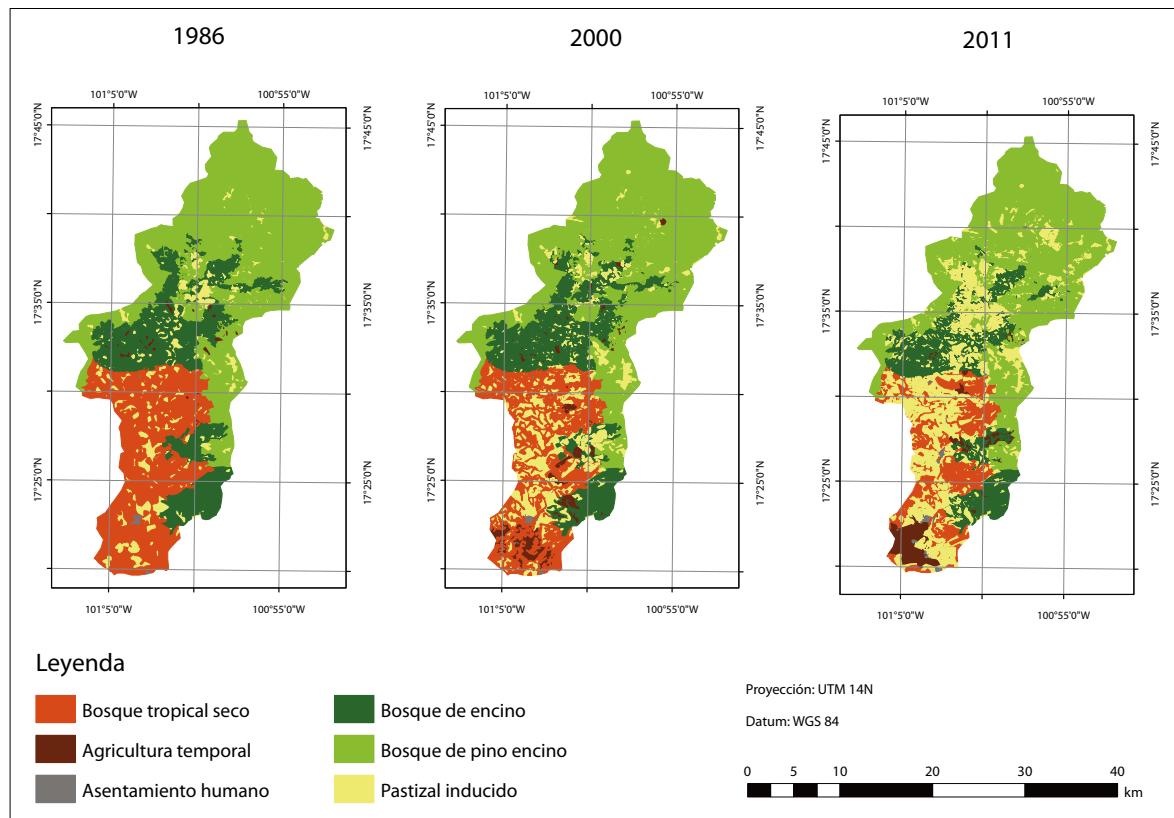


Figura 2. Mapas de cubiertas y usos del suelo de la cuenca del río Coyuquilla (1986, 2000 y 2011).

pino-encino (-0.98%). Un estudio realizado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) reportó, para la misma zona, una pérdida del 40% en el periodo 1992-2000 (CONABIO, 2002); sin embargo, estos resultados presentaron discrepancias debido a errores metodológicos que incluyeron el uso de una imagen más grande de la cuenca Coyuquilla e imágenes tomadas de temporadas distintas, lo cual provoca errores en la estimación de las tasas de deforestación reportadas (Durán *et al.*, 2005). Por otra parte, Durán *et al.* (2011) reportaron, para la misma región, una pérdida del 18% durante 1979-2000, presentando las mayores tasas anuales de pérdida para el bosque tropical seco (-2.89%) y bajas tasas anuales de pérdida para el bosque de pino-encino (-0.73%). Como se puede observar, las cifras reportadas por Durán *et al.* (2011) son similares a las encontradas en este estudio en el primer periodo y los resultados coinciden en que

el bosque de pino-encino fue la cubierta vegetal con la menor tasa de deforestación. No obstante, es necesario aclarar que aun con las coincidencias con el trabajo de Durán *et al.* (2005), el periodo de análisis, los insumos cartográficos y la escala de análisis (1:500 000) son diferentes a los empleados en este estudio (1:100 000), por lo que existen diferencias en las tasas de deforestación reportadas.

Con respecto a las transiciones de cubierta y uso del suelo fue posible identificar que las tres cubiertas analizadas (bosque tropical seco, bosque de encino y bosque de pino-encino) mostraron las más altas transiciones hacia los pastizales inducidos en ambos periodos (Figuras 3 y 4). Los resultados concuerdan, en el primer periodo (1986-2000), con el trabajo de Durán *et al.* (2011) donde observaron, en 1979-2000, que el pastizal inducido fue el principal uso del suelo que substituyó áreas forestales en la cuenca. Así mismo, el bosque tropical seco mostró, en ambos periodos (1986-

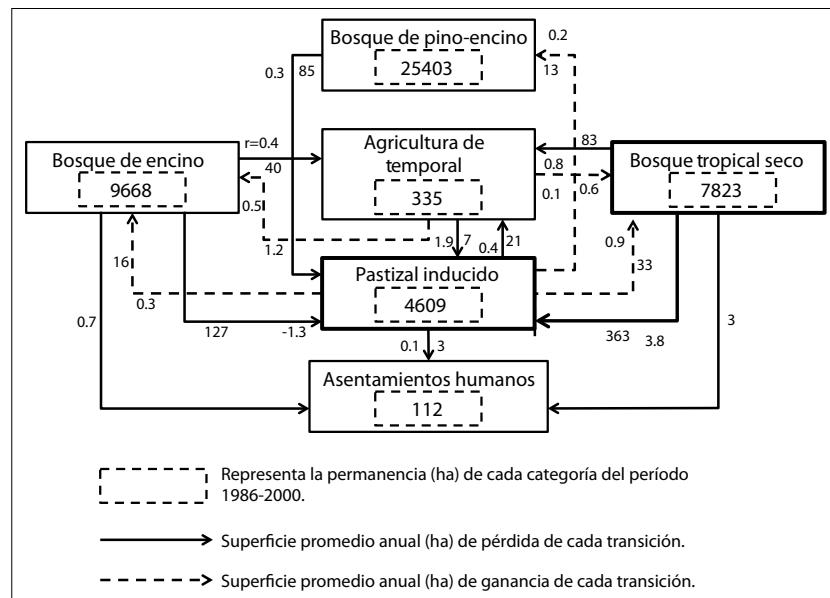


Figura 3. Representación esquemática de los procesos de cambio de cubierta/uso del suelo en el periodo 1986-2000. Los números en las cajas punteadas representan la permanencia (en hectáreas), las flechas en negrita representan la superficie promedio anual (en hectáreas) perdida, mientras que las flechas punteadas representan la superficie promedio anual (en hectáreas) ganada para las cubiertas vegetales.

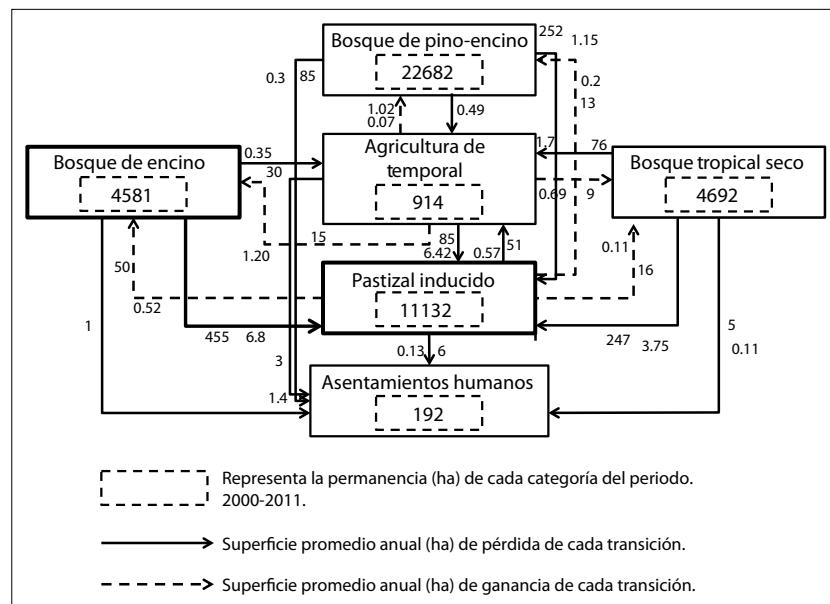


Figura 4. Representación esquemática de los procesos de cambio de cubierta/uso del suelo en el periodo 2000-2011. Los números en las cajas punteadas representan la permanencia (en hectáreas), las flechas en negrita representan la superficie promedio anual (en hectáreas) perdida, mientras que las flechas punteadas representan la superficie promedio anual (en hectáreas) ganada para las cubiertas vegetales.

2000 y 2000-2011), altas transiciones hacia la agricultura de temporal y, en menor medida, hacia los asentamientos humanos. Una de las razones por las que se reduce más el bosque tropical seco se debe a la relativa facilidad con la que se puede desmontar (dominado por árboles de baja estatura y diámetros pequeños), lo cual, aunado al poco reconocimiento que se tiene de sus especies útiles y a la marcada estacionalidad climática, lo vuelven

más vulnerable, en época de secas, a actividades como la roza, tumba y quema que pueden reducir su cubierta y promover el aumento de otros usos del suelo (Maass *et al.*, 2005).

Otro aspecto que cabe destacar es que la agricultura de temporal se concentró mayormente en la parte media y baja de la cuenca, es decir, la agricultura de temporal desplazó y provocó la disminución significativa del bosque tropical seco.

Este patrón de establecimiento (cuenca media y baja) de la agricultura de temporal se debe a que en estas secciones de la cuenca se presentan zonas de almacenamiento y depósito de nutrientes (Cotler, 2010) y, aunado al tipo de suelo presente en la parte baja de la cuenca (regosol), permiten el desarrollo de las actividades agrícolas (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). La cubierta bosque de encino mostró, en ambos periodos, transiciones hacia pastizales inducidos, agricultura de temporal y asentamientos humanos, sin embargo, las más altas transiciones correspondieron a los pastizales inducidos y se dieron en el segundo periodo de análisis (2000-2011), esto ocasionó una marcada disminución en su cubierta. Se sugiere que una posible causa de la disminución de la cubierta vegetal bosque de encino se debe a que la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del Programa de Producción Pecuaria Sustentable y Ordenamiento Ganadero y Apícola (PROGAN), aumentó en un 250% las áreas destinadas a pastizales inducidos para ganadería entre los dos periodos, esto es, aumentó de \$8 467 500 a \$21 151 000 en el municipio de Técpán de Galeana entre 2000 y 2010 (SAGARPA, 2011). Además, estos datos sustentan los resultados encontrados en el periodo 2000-2011, donde se presentaron importantes reemplazos de agricultura de temporal por áreas destinadas a pastizal inducido (Figura 4). Otro aspecto que se pudo detectar en la cuenca del río Coyuquilla fue una importante recuperación de vegetación, en el primer periodo (1986-2000) se detectó recuperación del bosque tropical seco, mientras que en el segundo (2000-2011) se observó recuperación del bosque de encino. Otros estudios reportaron importantes niveles de recuperación de vegetación ante la falta de oportunidades económicas que promueven el desarrollo de vegetación secundaria (López *et al.*, 2006 ; Galicia *et al.*, 2008; Díaz *et al.*, 2010).

En este estudio se puede inferir que el bosque tropical seco y el bosque de encino fueron las cubiertas que presentaron las mayores tasas anuales de cambio; el bosque tropical seco en el primer periodo, mientras que en el segundo el bosque de encino; en contraste, la cubierta bosque de pino-encino presentó la menor tasa anual de deforestación. Este

resultado concuerda con lo reportado por Durán *et al.* (2005) donde encontraron que la deforestación ocurrió mayormente en áreas de bosque con menor importancia comercial (bosques tropicales secos), lo que sugirió que la población emplea estas zonas para actividades económicas más rentables (p. ej. silvicultura y ganadería).

Identificación de las variables que se asocian a la deforestación

Mediante la obtención de los pesos de evidencia se identificaron las variables, ambientales y socioeconómicas, asociadas a la deforestación de las cubiertas de bosque tropical seco, bosque de encino y bosque de pino-encino para ambos periodos (Tabla 2).

Variables ambientales

Como se puede observar en la Tabla 2, la altitud, la distancia a carreteras, la distancia a localidades y, sobre todo, la pendiente del terreno, fueron indicadores importantes para explicar la deforestación en los tres tipos de bosque y los dos periodos analizados. Con respecto a la distancia a carreteras y la distancia a localidades, la deforestación ocurre con mayor frecuencia en áreas accesibles, es decir, sitios cercanos a poblados o carreteras, tal como lo reportan Gellrich y Zimmermann (2007) y Schirpke *et al.* (2012). Por su parte, la pendiente se relaciona negativamente con la deforestación para los tres tipos de bosques, es decir, a menores pendientes mayores probabilidades de deforestación, de igual forma esta relación se ha reportado en otras investigaciones (Nagendra *et al.*, 2003; Crk *et al.*, 2009). En este estudio, la cercanía a ríos no fue una variable ambiental relacionada con la pérdida de cubierta forestal, contrario a lo reportado por Tang *et al.* (2007) y Su *et al.* (2011). Finalmente, otra variable ambiental que no parece tener influencia sobre los procesos de deforestación es el tipo de suelo. Con base en lo anterior, la mayoría de las variables ambientales reportadas en este estudio, y en estudios previos, sugieren que los factores ambientales y de accesibilidad juegan un papel importante en la determinación o predisposición de las condiciones iniciales en las que los cambios de cubierta vegetal y uso del suelo se llevan a cabo (Lambin *et al.*, 2001; Yu *et al.*, 2011).

Tabla 2. Asociación de las variables, ambientales y socioeconómicas, con la deforestación

Variable	BTS			BE			BPE	
	AH	PI	AT	AH	PI	AT	AH	PI
PEND	0	--	--	--	--	--	0	0 -
ALT	--	--	--	0	++	0	0	0
TSUEL	0	0	0	0	0	0	0	0
DIST_RIOS	0	0	0	0	0	0	0	0
DIST_LOC	--	--	--	--	--	0	0 -	0
DIST_CARRE	--	--	--	--	--	0	--	--
PT	++	0	0+	0	0	0	0	0
PM	0	0	0	0	0	0 -	0	0 -
P15-49	0	0	0	0	--	0	0	0+
PANA	++	0	++	0	--	--	0	0
PISOT	0	- +	0	--	--	0	0	0+
PSS	++	++	0 +	0 +	0 +	0	0 +	0 +
PEA	--	- +	- +	0	--	--	0 -	+-

Las cubiertas corresponden al bosque tropical seco (BTS), bosque de encino (BE) y bosque de pino-encino (BPE); mientras que los usos del suelo corresponden a: asentamientos humanos (AH), pastizal inducido (PI) y agricultura temporal (AT). Los signos representan la relación positiva (+), negativa (-) o sin relación (0) que se da entre las variables y las transiciones de cubiertas y usos del suelo; el signo de lado izquierdo representa la relación en el periodo 1986-2000, mientras el signo del lado derecho representa la relación del de 2000-2011

Variables socioeconómicas

Con respecto a las variables socioeconómicas, los resultados son menos contundentes con una relación estadística más débil entre la deforestación y las variables socioeconómicas. Entre los resultados más sobresalientes se encuentran los siguientes: la población total se asoció con la deforestación solo para algunas transiciones y periodos (Tabla 2); la deforestación se relacionó de manera positiva con la conversión del bosque tropical seco a asentamientos humanos y agricultura temporal, en el primer caso en ambos periodos y en el segundo caso solo en el segundo. Se sugiere que esta relación se debe a que, en la zona en estudio, en las áreas donde se distribuye el bosque tropical seco se presentan mayores vías de comunicación con respecto a las demás cubiertas vegetales, estas condiciones promovieron la concentración de la población en el bosque tropical seco. Esta asociación se ha reportado por Figueroa *et al.* (2009), quienes men-

cionan una relación positiva entre la población y la conversión forestal en un estudio socioeconómico del proceso de cambio de cubierta vegetal en las Reservas de la Biosfera de México, debido a la alta densidad de carreteras y vías de comunicación. En otros estudios se ha reportado que la población total no es la principal causa de la deforestación (Lambin *et al.*, 2001), más bien, se ha sugerido que los movimientos demográficos (inmigración y emigración) pueden afectar al proceso de deforestación y recuperación de la vegetación (López *et al.*, 2006). En la zona en estudio fue posible detectar que la población entre 15 y 49 años y la población masculina, indicadores de migración, se asociaron de manera negativa con la deforestación del bosque de encino, en ambos periodos, y el bosque tropical seco, en el primero. Esto quiere decir que en las zonas donde se presentó recuperación de vegetación, en el primer periodo del bosque tropical seco y, en ambos, del bosque de encino, presenta-

ron una disminución en la población masculina y la población de 15 a 49 años. La migración debe considerarse como otro indicador de la dinámica de recuperación y pérdida de vegetación (Pineda *et al.*, 2009; Díaz *et al.*, 2010; López *et al.*, 2006) debido a que los flujos migratorios (campo-ciudad, entre ciudades y a nivel internacional) se han reconocido como una estrategia de sobrevivencia económica de los hogares que, finalmente, provocan el abandono de tierras (López *et al.*, 2006); esto a su vez se ha relacionado con la recuperación de vegetación secundaria (López *et al.*, 2006; Galicia *et al.*, 2008; Yackulic *et al.*, 2011).

La marginación es otro de los factores socioeconómicos que se relaciona con la pérdida de bosques (Pineda *et al.*, 2009), y se ha considerado como un fenómeno estructural que se manifiesta tanto en la dificultad para propagar el avance técnico en el conjunto de la estructura productiva y en las regiones del país, y como en la exclusión de grupos sociales del proceso de desarrollo y disfrute de sus beneficios (CONAPO, 1995). La marginación fue un factor que se asoció de manera positiva con la deforestación del bosque tropical seco en ambos periodos de análisis (1986-2000 y 2000-2011), de manera negativa con la deforestación del bosque de encino en el primero y de manera positiva con la deforestación del bosque de encino y bosque de pino-encino en el segundo. La relación entre la marginación y la deforestación se ha reportado en el estudio de Pineda *et al.* (2009), sin embargo, se ha documentado que la asociación entre la marginación y la deforestación puede presentar patrones opuestos dependiendo de la región (Mas *et al.*, 2013), esto sugiere una conducta irregular dada por la variabilidad espacial y temporal que presentan estos factores socioeconómicos.

Finalmente, la población económicamente activa se asoció de forma negativa con la deforestación del bosque de encino, en ambos períodos, positiva con la deforestación del bosque de pino-encino en el primero, y el bosque tropical seco en el segundo. Esta última variable reafirma la tendencia de que las variables socioeconómicas, analizadas en este trabajo, no mantienen un patrón continuo y no presentan una influencia única sobre los procesos de deforestación. Las variables socioeconómicas

no funcionan de forma aislada, contrario a esto, forman un complejo que actúa de forma conjunta sobre el espacio; en otras palabras, los resultados basados en las variables socioeconómicas sugieren una discontinuidad de las variables para asociarse al proceso de deforestación en la cuenca; las variables socioeconómicas no presentan patrones bien definidos que sugieran un efecto independiente en el proceso de deforestación, tal como se da con algunas variables ambientales. Esta misma tendencia ha sido reportada en otros estudios (Rosete *et al.*, 2013).

Los resultados muestran que la influencia de las variables socioeconómicas sobre la deforestación varía en la escala temporal pues no existe un patrón sostenido en el tiempo. Las variables socioeconómicas actúan a distintas escalas, temporal y espacial, lo cual promueve la acción de diversas variables en cierto espacio y tiempo; los cambios de cubierta y uso del suelo deben ser analizados de forma multiescalar, en el espacio y el tiempo, y con ello, posiblemente, se entenderán a profundidad las fuerzas o variables socioeconómicas que se asocian a la deforestación (*Ibid.*). Los resultados encontrados en este trabajo sustentan la variabilidad temporal o no-estacionaridad que presentan las variables socioeconómicas para incidir en las cubiertas vegetales.

Las variables socioeconómicas que influyen en la región en estudio, cambian en función de la escala espacial. El estudio de Durán *et al.* (2011) en la cuenca del río Coyuquilla, a escala regional, fundamenta esta variabilidad espacial pues encuentra que la deforestación estuvo asociada a una extremada debilidad en la gobernanza forestal y a la violencia de la región, sin embargo, a escala local encontraron que hubo diferencias en la gobernanza forestal en dos comunidades de la cuenca (Mameyal y Corrales), mientras que en Mameyal se encontró una debilidad en la gobernanza forestal, la cual se asoció a la violencia y a la deforestación, en Corrales la buena organización forestal se asoció a una menor tasa de deforestación. Estos resultados refuerzan la hipótesis de que los conductores socioeconómicos de la deforestación varían con las escalas espaciales y temporales.

Modelación de los procesos de deforestación

Con base en los pesos de evidencia calculados a partir de los datos del primer periodo, se calculó la probabilidad de ocurrencia de las transiciones para el segundo. El modelo identificó que las áreas más probables a sufrir un cambio de cubierta se localizan en sitios accesibles (bajas pendientes, cercanía a centros urbanos y cercanía a carreteras; Figura 5).

La evaluación de los modelos probabilísticos, a través del análisis ROC, muestra que los resultados se encuentran muy por arriba de un modelo

aleatorio y fueron capaces de identificar las áreas más propensas a los CCUS del siguiente periodo (2000-2011) para las ocho transiciones analizadas. El modelo obtuvo un mejor desempeño con las transiciones hacia la categoría asentamientos humanos debido al patrón espacial más predecible de estos cambios. De igual forma, el desempeño del modelo con las transiciones de bosque a agricultura temporal fueron un poco mejores que con las transiciones de bosque a pastizal inducido, siendo las del bosque tropical seco las que mejores des-

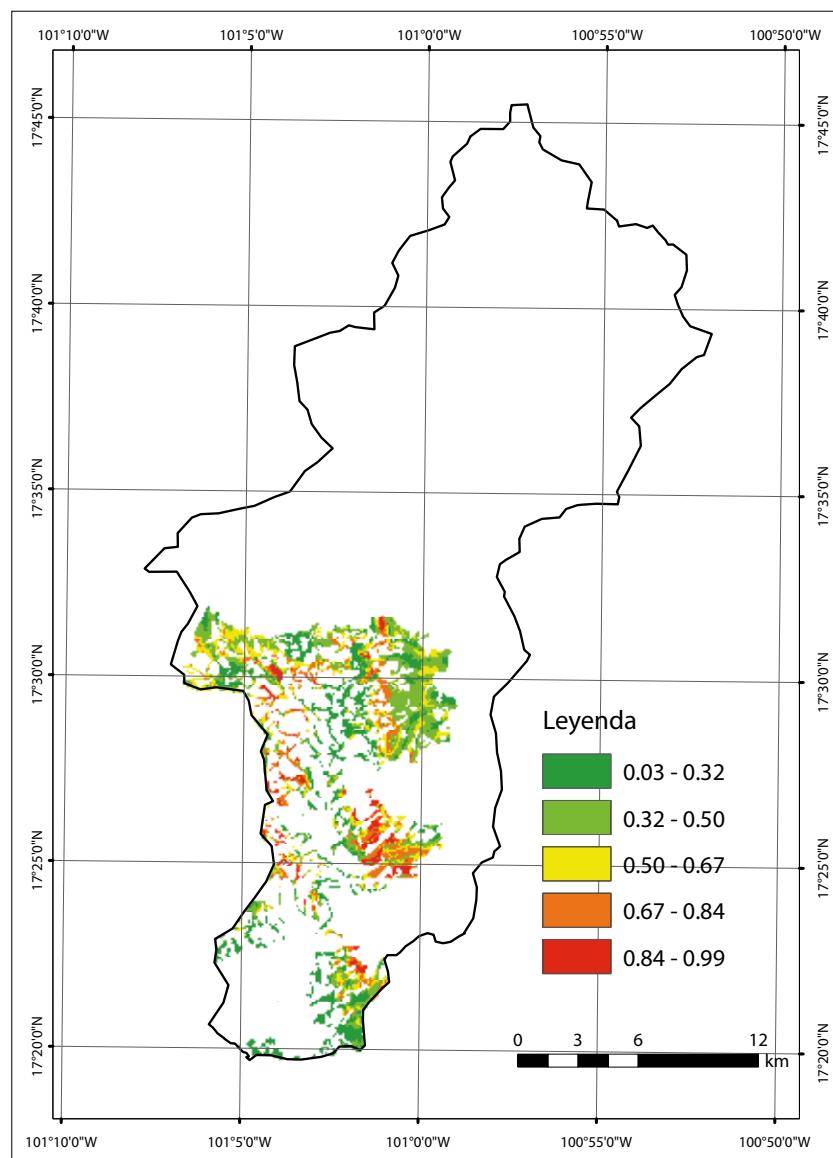


Figura 5. Mapa de probabilidad de la transición bosque tropical seco a pastizal inducido.

empeños tuvieron para ambas transiciones (hacia pastizal inducido y hacia zonas agrícolas; Tabla 3).

En el análisis estadístico, las variables socioeconómicas tuvieron menos poder explicativo que las variables ambientales. Sin embargo, no se debe interpretar este resultado como un menor papel en los procesos de cambio. En primer lugar, el análisis está basado en la coincidencia espacial entre las variables explicativas y las áreas deforestadas. Las variables de accesibilidad, aún más, las ambientales, tienen un efecto localizado; por ejemplo, un sitio aislado, con fuerte pendiente o suelo poco fértil, tiene poca probabilidad de ser desmontado. Así mismo, hay que tomar en cuenta que el efecto de variables relacionadas a la población es mucho más difuso en el espacio. Podemos imaginar, por ejemplo, que pobladores con ciertas características socioeconómicas desmonten en lugares cercanos a poblaciones con características totalmente diferentes. Por otro lado, el método de ponderación utilizado para espacializar los datos socioeconómicos por localidad, no refleja de forma realista la influencia que tienen las localidades sobre su entorno, ya que no toman en cuenta aspectos importantes como acceso o tenencia de la tierra.

Así mismo, el análisis estadístico puede mostrar asociaciones espaciales que no necesariamente indican relaciones de causa-efecto. Por ejemplo, la deforestación tiende a asociarse con la marginación, pero el análisis no permite evaluar si la deforestación es causa de la marginación, o viceversa, o bien si estas dos variables están asociadas a una tercera que es realmente el conductor. El análisis estadístico tiene, por consecuencia, una aportación limitada para explicar los procesos de cambio y debe comple-

Tabla 3. Valores del índice estadístico “área debajo de la curva ROC” para las diferentes transiciones

Cubierta / uso de suelo	A. humanos	Pastizal inducido	A. temporal
Bosque tropical seco	0.91	0.69	0.75
Bosque de encino	0.92	0.65	0.71
Bosque de pino-encino	0.85	0.61	-

mentarse con estudios desde un enfoque de ciencias sociales que permitan entender mejor la toma de decisiones por parte de los agentes inductores de los cambios.

Si bien el modelo tiene poco poder explicativo, permite identificar, de forma razonable, las áreas más propensas a los cambios, tal y como lo indica el análisis ROC. Sin embargo, es notable que los patrones de cambio presenten importantes diferencias de uno a otro periodo (Rosete *et al.*, 2013). Esto es, las superficies desmontadas y los tipos de transición presentan una gran variación entre el periodo 1986-2000 y el de 2000-2010, lo cual hace que las proyecciones basadas en las tendencias observadas sea un ejercicio un tanto arriesgado. Por estas razones, la modelación de los CCUS no debe tomarse como una herramienta de predicción sino más bien de construcción de escenarios prospectivos (Veldkamp y Lambin, 2001; Verburg *et al.*, 2002; Mas *et al.*, 2014). De hecho, y por la misma razón, una tendencia en la evolución de los modelos de los procesos de deforestación ha sido pasar de los modelos basados en los patrones, y calibrados sobre tendencias observadas en el pasado, hacia modelos que tratan de simular los procesos de cambio, integrando conocimiento experto (NRC, 2013; Mas *et al.*, 2014).

CONCLUSIONES

La cuenca del río Coyuquilla perdió el 36% de su cubierta forestal en 25 años (1986-2011). En el primer periodo las mayores tasas de pérdida se presentaron en el bosque tropical seco, mientras que en el segundo fue el bosque de encino el más afectado por los cambios. La ganadería fue la principal actividad que provocó la pérdida de las cubiertas forestales.

Los resultados muestran una relación entre los factores ambientales y socioeconómicos y la deforestación. Sin embargo, para entender mejor los procesos de cambio, es necesario realizar análisis cualitativos que permitan la integración de otros factores (p. ej. políticas públicas) que se pueden asociar a la toma de decisiones relacionadas con los procesos de deforestación. El monitoreo y el control de los

procesos de deforestación debe ser prioridad para las instituciones gubernamentales, por los impactos que tienen estos cambios sobre el bienestar social como lo demostraron las trágicas inundaciones que azotaron el estado de Guerrero recientemente. Los análisis de CCUS son útiles para los tomadores de decisiones ya que permiten enfocar esfuerzos en la implementación de políticas apropiadas para la prevención de los procesos de deforestación, programas de ordenamiento territorial, conformación de planes de manejo, restauración, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al M. C. José Antonio Navarrete Pacheco por el apoyo en la adquisición de las imágenes satelitales. También agradecemos a dos revisores anónimos que contribuyeron a mejorar la claridad del texto. Así mismo, agradecemos a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por el apoyo otorgado a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) con clave de proyecto RR113511, al Posgrado en Ciencias Biológicas UNAM y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor (245645).

REFERENCIAS

- Burrough, P. A. and R. A. McDonnell (1998), "Data models and axioms: formal abstractions of reality", in Burrough, P. A. and R. A. McDonnell (coords.), *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford, United Kingdom, pp. 16-34.
- Camacho Olmedo, M. T., M. Paegelow and J. F. Mas (2013), "Interest in intermediate soft-classified maps in land change model validation: suitability versus transition potential", *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 27, no. 12, pp. 2343-2361.
- Card, D. H. (1982), "Using known map category marginal frequencies to improve estimates of thematic map accuracy. Photogramm", *Engineering Remote Sensing*, no. 48, 431-439.
- CONABIO (2002), *Identificación de Zonas de Bosques en el Estado de Guerrero*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONAPO (1995), *Anexo Metodológico A: Indicadores socioeconómicos e Índice de marginación municipal 1990*, Consejo Nacional de Población, México.
- CONAPO (2012), Índices de marginación por localidad [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/indices_marginalia/2010/documento-principal/Capitulo01.pdf].
- Cotler, H. (2010), *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización*, Semarnat INE-FGRA, México.
- Crk, T., M. Uriarte, F. Corsi and D. Flynn (2009), "Forest recovery in a tropical landscape: what is the relative importance of biophysical, socioeconomic, and landscape variables?", *Landscape Ecology*, vol. 24, no. 5, pp. 629-642.
- Díaz Gallegos, J. R., J. F. Mas and A. Velázquez (2010), "Trends of tropical deforestation in Southeast Mexico", *Singapore Journal of Tropical Geography*, vol. 31, pp. 180-196.
- Durán, E., J. F. Mas and A. Velázquez (2005), "Land use/cover change in community-based forest management regions and protected areas in Mexico", in Bray, D. and L. Merino (coords.), *The Community Forests of Mexico*, University of Texas Press, Austin, Texas, USA, pp. 215-238.
- Durán, E., D. B. Bray, A. Velázquez and A. Larrazábal (2011), "Multi-Scale forest governance, deforestation, and violence in two regions of Guerrero, Mexico", *World Development*, vol. 39, no. 39, pp. 611-619.
- FAO (1995), *Forest resources assessment 1990*. Global Synthesis, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- FAO (1996), *Forest Resource Assessment Programme 1990, Survey of Tropical Forest Cover and Study of Change Processes*. Forestry Paper 130, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Farfán, M., J. F. Mas and L. Osorio (2012), "Interpolating socioeconomic data for the analysis of deforestation: a comparison of methods", *Journal of Geographic Information System*, vol. 4, no. 4, pp. 358-365.
- Figueroa, F., V. Sánchez Cordero, J. A. Meave and I. Trejo (2009), "Socioeconomic context of land use and land cover change in Mexican biosphere reserves", *Environmental Conservation*, vol. 36, no. 3, pp. 180-191.
- Galicia, L., A. E. Zarco Arista, K. L. Mendoza Robles, J. L. Palacio Prieto and A. García Romero (2008), "Land use/cover, landforms and fragmentation patterns in a tropical dry forest in the southern Pacific region of Mexico", *Singapore Journal of Tropical Geography*, vol. 29, no. 2, pp. 137-154.
- Geist, H. J. and E. Lambin (2002), "Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation", *BioScience*, vol. 52, no. 2, pp. 143-150.

- Gellrich, M. and N. E. Zimmermann (2007), "Investigating the regional-scale pattern of agricultural land abandonment in the Swiss mountains: A spatial statistical modelling approach", *Landscape and Urban Planning*, vol. 79, pp. 65-76.
- INEGI (2000), *Censo General de Población y Vivienda 2000* [<http://www.inegi.org.mx>].
- INEGI (2010), Censo de Población y Vivienda 2010 [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos_ccpv/cpv2010].
- IUSS Grupo de Trabajo WRB (2007), *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*, Primera actualización 2007, Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103, FAO, Roma.
- Lambin, E., B. L. Turner, H. J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, 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. Stone, U. Svedin, T. Veldkamp, C. Vogel and J. Xu (2001), "The causes of land-use and landcoverchange: moving beyond the myths", *Global Environmental Change*, vol. 11, no. 4, pp. 261-269.
- Lambin, E. F. and H. Geist (2002), "Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation", *BioScience*, vol. 52, no. 2, pp. 143-150.
- López, E., G. Bocco, M. Mendoza, A. Velázquez and R. Aguirre (2006), "Peasant emigration and land-use change at the watershed level. A GIS-based approach in Central Mexico", *Agricultural Systems*, vol. 90, pp. 62-78.
- Mas, J. F., H. Puig, J. L. Palacio and A. S. López (2004), "Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks", *Environmental Model and Software*, vol. 19, pp. 461-471.
- Mas, J. F. y A. Flamenco (2011), "Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México", *GeoTrópico*, vol. 5, no. 1, pp. 15-37.
- Mas, J. F. y S. Couturier (2011), "Evaluación de bases de datos cartográficas", en Bautista, F., J. L. Palacio y H. Delfín (coords.), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*, 2^a. edición, INE, CIGA, IG, UNAM, México, pp. 675-703.
- Mas, J. F., B. S. Soares-Filho, R. G. Pontius, M. Farfán and H. Rodrigues (2013), "A suite of tools for ROC analysis of spatial models", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 2, no. 3, pp. 869-887.
- Mas, J. F., M. Kolb, M. Paegelow, M. T. Camacho Olmedo and T. Houet (2014), "Inductive pattern-based land use/cover change models: a comparison of four software packages", *Environmental Modelling & Software*, vol. 51, pp. 94-111.
- Maass, J., P. Balvanera, A. Castillo, G. Daily, H. Mooney, P. Ehrlich, M. Quesada, A. Miranda, V. Jaramillo, F. García Oliva, A. Martínez Yrizar, H. Cotler, J. López Blanco, A. Pérez Jiménez, A. Bürquez, C. Tinoco, G. Ceballos, L. Barraza, R. Ayala and J. Sarukhán (2005), "Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico", *Ecology and Society*, vol. 10, no. 1, pp. 17-23.
- Nagendra, H., J. Southworth and C. Tucker (2003), "Accessibility as a determinant of landscape transformation in western Honduras: Linking pattern and process", *Landscape Ecology*, vol. 18, pp. 141-158.
- NRC (2013), *Advancing Land Change Modeling: Opportunities and Research Requirements*, Committee on Needs and Research Requirements for Land Change, Modeling; Geographical Sciences Committee; Board on Earth Sciences, and Resources; Division on Earth and Life Studies, National Research Council, Washington, USA.
- Palacio Prieto J. L., G. Bocco, A. Velázquez, J. F. Mas, F. Takaki Takaki, A. Victoria, L. Luna González, G. Gómez Rodríguez, J. López García, M. Palma Muñoz, I. Trejo Vázquez, A. Peralta Higuera, J. Prado Molina, A. Rodríguez Aguilar, R. Mayorga Saucedo y F. González Medrano (2000), "La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 43, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 183-203.
- Pineda Jaimes, N. B., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M. y W. Plata Rocha (2009), "Análisis de cambio de uso del suelo en el estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariante. Una aproximación a los procesos de deforestación", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 69, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 33-52.
- Pontius Jr, R. G. and L. Schneider (2001), "Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 85, no. 1-3, pp. 239-248.
- Rosete Vergés, F. A., A. Velázquez, G. Bocco and I. Espejel (2013), "Multi-scale land cover dynamics of semiarid scrubland in Baja California, Mexico. *Regional Environmental Change*, DOI 10.1007/s10113-013-0574-8.
- SAGARPA (2011), *Publicación de resultados de los apoyos de fomento al desarrollo de vaquillas gestantes y hembras ovinas y caprinas puberes excedentes de los reemplazos normales del productor y adquisición de semen sexado dentro del programa de apoyo a la inversión en equipamiento e infraestructura 2011, en su componente de recursos genéticos pecuarios* [<http://www.sagarpa.gob.mx>]

- gob.mx/Delegaciones/guerrero/Documents/RE-CRIA%202011.PDF: 10 de mayo 2013].
- Schirpke, U., G. Leitinger, U. Tappeiner and E. Tasser (2012), "SPA-LUCC: Developing land-use/cover scenarios in mountain landscapes", *Ecological Informatics*, vol. 12, pp. 68-76.
- Serneels, S. and E. F. Lambin (2001), "Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 85, pp. 65-81.
- Soares-Filho B. S., C. L. Pennachin and G. Cerqueira (2002), "DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier", *Ecological Modelling*, vol. 154, no. 3, pp. 217-235.
- Soares-Filho B. S., H. O. Rodrigues and W. L. S. Costa (2009), *Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO*, Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil [<http://www csr.ufmg br/dinamica/>: 4 de octubre de 2010].
- Soares-Filho, B. S., P. Moutinho, D. Nepstad, A. Anderson, H. Rodrigues, R. Garcia, L. Dietzsch, F. Merry, M. Bowman, L. Hissa, R. Silvestrini and C. Maretti (2010), "Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, vol. 107, no. 24, pp. 10821-10826.
- Su C., B. Fu, Y. Lu, N. Lu, Y. Zeng, A. He and H. Lam-parski (2011), "Land use change and anthropogenic driving forces: A case study in Yanhe River Basin", *Chinese Geographical Science*, vol. 21, pp. 587-599.
- Tang, F., X. Chen, G. Luo, Q. Lin and H. Liu (2007), "A contrast of two typical LUCC processes and their driving forces in oases of arid areas: A case study of Sangong River Watershed at the northern foot of Tianshan Mountains", *Science in China Series D: Earth Sciences*, vol. 50, pp. 65-75.
- Turner, A. B. L., W. B. Meyer and D. L. Skole (1994), "Global land-use/land-cover change: towards an integrated study", *Ambio*, vol. 23, no. 1, pp. 91-95.
- Veldkamp A. and E. Lambin (2001), "Predicting Land use change and Land cover change", *Agriculture Ecosystems and Environment*, vol. 85, pp. 1-6.
- Verburg, P. H., W. Soepboer, A. Veldkamp, R. Limpiada, V. Espaldon and S. A. Sharifah-Mastura (2002), "Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: the CLUE-S Model", *Environmental Management*, vol. 30, pp. 391-405.
- Yackulic, C. B., M. Fagan, M. Jain, A. Jina, Y. Lim, M. Marlier, R. Muscarella, P. Adame, R. Defries and M. Uriarte (2011), "Biophysical and socioeconomic factors associated with forest transitions at multiple spatial and temporal scales", *Ecology and Society*, vol. 16, no. 3, pp. 15-21.
- Yu, W., S. Zang, C. Wu, W. Liu and X. Na (2011), "Analyzing and modeling land use land cover change (LUCC) in the Daqing City, China", *Applied Geography*, vol. 31, no. 2, pp. 600-608.