



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

POSGRADO EN GEOGRAFÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

ANÁLISIS DEL PROCESO DE DEFORESTACIÓN EN EL ESTADO DE
MICHOACÁN: DE LO ESPACIAL A LO SOCIAL

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

JAIME OCTAVIO LOYA CARRILLO

TUTOR

DR. JEAN FRANCOIS MAS CAUSSEL
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante la realización de la maestría.

A mi asesor de tesis el Dr. Jean Francois Mas Causse por apoyarme todo el tiempo, no solo durante el lapso de maestría, sino durante toda mi estancia en el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Al proyecto *Análisis espacio-temporal de la vulnerabilidad del paisaje utilizando percepción remota y métodos espaciales: Un estudio interdisciplinario y multiescalar en cuatro regiones del país* financiado por el fondo CONACYT-INEGI. Proyecto del cual forme parte y estoy agradecido, al permitirme utilizar los datos para esta investigación, financiar mi trabajo de campo y asegurar mi participación en el Congreso Latinoamericano IUFRO de Ecología del Paisaje en el mes de noviembre del año 2016. Además al equipo de trabajo del proyecto con el que compartí un gran número de experiencias y aprendizaje en lo personal y profesional.

A los sinodales: la Mtra. Gabriela Cuevas García, el Dr. Miguel Ángel Castillo Santiago, el Dr. Diego Rafael Pérez Salicrup y el Dr. Noel Bonfilio Pineada James, por la revisión del documento de tesis y sus aportaciones para mejorarlo.

A la candidata a Dra. Araceli Andablo Reyes, por sus valiosas aportaciones para ayudarme a entender cómo opera un proceso desde una perspectiva diferente.

Al Dr. Adrián Ghilardi por darme la oportunidad de demostrar que cuando se quiere se puede hacer. Por último y no menos importante a mi familia y amigos por su apoyo incondicional en todo momento.

RESUMEN

La riqueza de recursos naturales dentro del estado de Michoacán en México, ha propiciado las condiciones adecuadas para el desarrollo de actividades en los sectores primario y secundario, sobre las que destacan: el cultivo de maíz, sorgo, aguacate, trigo, limón, guayaba, fresa y zarzamora, además el aprovechamiento forestal, la producción pecuaria y el desarrollo de los subsectores mineros, de construcción y electricidad. Esta dinámica ha favorecido la intensificación en el uso del terreno a la vez que agudiza el proceso de deforestación, lo cual ha impactado las condiciones socioeconómicas de la población, así como las condiciones climáticas, hidrológicas, edafológicas y biológicas del medio natural. En este sentido, se plantea una propuesta metodológica que permita entender el proceso de deforestación en el estado de Michoacán. Para ello se utilizaron herramientas estadísticas aplicadas en gabinete y métodos descriptivos, a partir de la observación en campo. Es evidente que el proceso de deforestación se comporta de forma diferenciada sobre el espacio, en algunas ocasiones es favorecido por factores sociales, económicos, de política pública y las condiciones ambientales del lugar, en otras, estos mismos factores permite la conservación de los bosques. Esta premisa puede ser la base para identificar regiones con necesidades específicas y plantear objetivos, planes de acción o recomendaciones para atenderlas.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.ANTECEDENTES	3
1.1.1. EL PROCESO DE LA DEFORESTACIÓN: DE LO GLOBAL A LO REGIONAL ...	3
1.2. JUSTIFICACIÓN	5
1.3. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.4.OBJETIVOS GENERALES Y PARTICULARES	7
1.5.HIPÓTESIS	7
2. MARCO TEORICO DE REFERENCIA	8
2.1. ¿QUÉ ES LA DEFORESTACIÓN?	8
2.2. ¿CUÁLES SON LOS CONDUCTORES QUE PROMUEVEN LA DEFORESTACIÓN?	8
2.3. MODELOS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO.....	10
2.4. MODELOS DE REGRESIÓN GEOGRÁFICAMENTE PONDERADA	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. ÁREA DE ESTUDIO	15
3.2. INSUMOS CARTOGRÁFICOS.....	18
3.3. RECOPIACIÓN DE LOS DATOS	21
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	25
3.4.1. ZONAS CON MAYOR TASA DE DEFORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN: ESTADÍSTICO DE GETIS-ORD.....	25

3.4.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN	28
4. RESULTADOS.....	32
4.1.MAPAS DE CAMBIO	32
4.2.FOCOS DE DEFORESTACIÓN.....	34
4.3.ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y ESPACIAL DE LOS CONDUCTORES DE LA DEFORESTACIÓN	36
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	47
6. FACTORES QUE PROMUEVEN LA DEFORESTACIÓN: EL CASO DE TARETAN, MICHOACÁN.....	48
6.1. INTRODUCCIÓN.....	48
6.2.MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
6.3.RESULTADOS.....	52
6.4.DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	64
7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES	65
8. BIBLIOGRAFÍA.....	68

1. INTRODUCCIÓN

La actividad humana tiene implicaciones importantes para el “*Cambio Global*”, de hecho algunos autores consideran que gran parte de estos cambios son controlados por la forma en que utilizamos el suelo (uso de suelo), así como los cambios que provocamos sobre la vegetación u otro material que cubre la superficie terrestre (cobertura del suelo), es decir el cambio de cobertura y uso de suelo (CCUS) (Vitousek, 1992; Meyer y Turner, 1994; Lambin, 1997; Dolman et al., 2003; Rockström et al., 2009). Por tal motivo, la preocupación por el CCUS ha ido en aumento, al grado de advertir sobre la necesidad de desarrollar enfoques holísticos, que permitan señalar cómo interactúan los distintos factores socioeconómicos y biofísicos con el proceso de cambio (Meyer y Turner, 1994; Lambin et al., 2003; Pineda et al., 2011; Sánchez-Cuervo y Aide, 2013).

Las consecuencias del CCUS no siempre son negativas, el problema ocurre cuando existe un manejo inadecuado y desmedido sobre el proceso de cambio, al grado de producir efectos diversos que varían en todas las escalas. A nivel global la pérdida de cubierta vegetal ha modificado el ciclo de carbono lo cual ha traído consigo cambios en el clima, mientras que a nivel local y regional existe una pérdida importante de biodiversidad, además la sedimentación de lagos y ríos, la degradación del suelo, es cada vez más evidente (Lambin et al., 2003; Walker, 2004; Foley et al., 2005). Es claro que existe una lista vasta sobre los efectos que el CCUS puede producir, por esta razón numerosas comunidades de científicos se han centrado en entender y cuantificar sus efectos (Fang et al., 2001; Lambin et al., 2003; Walker, 2004; Martin, 2008; Mas et al., 2009). En este sentido, gran parte de los estudios sobre el CCUS abordan la deforestación y degradación forestal, al ser los procesos que predominan cuando un cambio en la cubierta vegetal ocurre (Geist y Lambin, 2001; Walker, 2004), aunque en las últimas décadas se han registrado algunas regiones en el mundo, con una tendencia hacia la reforestación (Rudel et al., 2005; Kauppi et al., 2006).

Particularmente la deforestación y degradación forestal han sido tema de interés de los grandes foros políticos nacionales e internacionales (Kannien et al., 2008), principalmente por la pérdida y conversión de los bosques contribuyen en gran medida con las emisiones de gases de efecto invernadero (Fang et al., 2001; Pan et al., 2011; Propastin, 2015). Esta situación ha incrementado la demanda por el conocimiento detallado de los recursos forestales, en el cual se incluye su distribución espacial, las causas que inducen su pérdida y los efectos secundarios a los que conlleva. Al respecto, una de las preguntas clave que centran la investigación sobre el CCUS, en la cual va intrínseco el proceso de deforestación, se planteó en 1994 por el proyecto “Land-Use and Land-Cover (LUCC)”, con la cual se pretende conocer “*¿Cuáles son las principales causas humanas del cambio de la cubierta vegetal en diferentes contextos geográficos e históricos?*” (NRC, 2014). Encontrar la respuesta a esta pregunta, ha implicado que una gran cantidad de métodos, herramientas e insumos sean utilizados. De hecho, en los últimos 40 años el monitoreo del CCUS ha dependido en gran medida de Sistemas de Información Geográfica (SIG)¹, Sistemas de Percepción Remota (SPR)² y recientemente, de bases de datos geográficas que contienen mapas digitales sobre diferentes aspectos de la cubierta terrestre (vegetación, topografía, rasgos sociales, políticas gubernamentales...).

¹ Goodchild (2000) define los Sistemas de Información Geográfica como “*una tecnología integradora que une varias disciplinas con el objetivo común del análisis, creación, adquisición, almacenamiento, edición, transformación, visualización, distribución, etc., de información geográfica*”.

² De acuerdo con Chuvieco (1996) los Sistemas de Percepción Remota “*permiten adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales*”.

Los cambios en la cubierta vegetal constituyen un fenómeno complejo que resulta de la interacción sinérgica de una gran cantidad de factores, de tal forma que para poder entender cómo es que este opera, es necesario un análisis sistemático a distintas escalas espaciales y temporales, que permita descubrir los principios generales que los gobiernan (Lambin et al., 2003). Esta forma de abordar el CCUS suele ser un proceso enriquecedor, ya que permite proporcionar explicaciones y generar proyecciones de los nuevos cambios. Al respecto, Ramankutty y Foley (1999) sugieren que para poder entender y predecir los impactos que el CCUS tiene sobre la superficie terrestre, es necesario hacer reconstrucciones históricas y proyecciones, basadas en las tendencias regionales de los procesos que operan a nivel global. Sin embargo, esto no es una tarea sencilla ya que las distintas formas de abordar el CCUS, han provocado que las estimaciones sobre las tasas de cambio sean muy variadas. Esta situación se debe principalmente a la falta de consensos los cuales, permitan homogenizar el uso de los métodos e insumos en la cuantificación de las cubiertas del suelo, con el propósito de hacer equiparables los estudios sobre el CCUS en distintas regiones a lo largo del tiempo (Bocco et al, 2001). En este sentido este trabajo presenta, una propuesta metodológica que facilite el análisis estadístico y descriptivo entre las relaciones espaciales del proceso de deforestación con las causas que lo provocan.

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. EL PROCESO DE LA DEFORESTACIÓN: DE LO GLOBAL A LO REGIONAL

Durante el periodo 1990-2015, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015) reportó una pérdida de 129 millones de hectáreas (ha) de bosque a nivel mundial, lo cual representa una tasa anual del 0.13%. La FAO señala que las tasas de deforestación

disminuyeron de un 0.18% entre los años 1990 y 2010 a un 0.08% entre los años 2010 y 2015. Por su parte Hansen et al. (2013), señalan que durante el periodo 2000 a 2012, se perdieron en el mundo un total 2.3 millones de km² de bosques, aunque simultáneamente se ganaron 0.8 millones de km². Hansen et al. (2013), identificaron un total de 0.2 millones de km² que experimentaron pérdida y ganancia forestal subsecuentemente.

En el caso de México durante los periodos 1993-2002 y 2002-2007, la deforestación de bosques y selvas pasó de 354,035 ha a 155,152 ha anuales respectivamente (CONAFOR, 2010). Esta pérdida de la cubierta vegetal se atribuye principalmente a la expansión del uso de suelo urbano, industrial y agropecuario. Otros autores (Mas et al., 1996; Ortiz-Espejel y Toledo, 1998; Roy Chowdhury, 2006; Pineda et al., 2009; Osorio et al., 2014) reportan tasas de deforestación anuales, para diferentes regiones del país, que oscilan entre el 0.27% y el 7.6%, sobre las cuales se ha encontrado relación con variables de tipo biofísicas y de proximidad (altitud, distancia a carreteras, distancia a localidades y vías de comunicación, pendiente, distancia a zonas agrícolas), variables socioeconómicas (características de los hogares, ingresos, densidad de población, estratos de población), políticas de uso de suelo, factores institucionales e inclusive iniciativas que promueven el desarrollo sustentable.

Particularmente en el estado de Michoacán, Bocco et al. (2001) reportaron una tasa de deforestación del 1.8% anual (durante el periodo 1975-1993), atribuida al descontrol (uso intensivo del suelo para fines agrícolas, tala ilegal) que existe sobre la actividad forestal. Merino (2004) analizó la información del Inventario Nacional de Recursos Naturales (INRENA) del Instituto de Geografía de la UNAM (elaborado en el año 2009). Las estimaciones de la superficie forestal en Michoacán fueron de 1.69 millones de ha entre bosques y selvas, lo que representaba el 29% del territorio estatal. Con datos del INRENA y el Inventario Nacional Forestal (INF) del año 1994, Merino (2004) realizó un análisis de CCUS (para el corte histórico 1994-2000). Sus resultados

señalan una tasa de deforestación anual del 5.96% para los bosques templados y del 7.14%, para las selvas. Las causas de la pérdida de bosques templados fueron el clandestinaje y la conversión a parcelas agrícolas, mientras que el desmonte para uso ganadero y agrícola, fueron las razones principales de la pérdida de selvas.

Estudios como el de Mas et al. (2005), señalan en el estado de Michoacán la superficie de bosques templados disminuyó de 1, 755, 000 a 1, 522, 000 ha durante el periodo 1976 a 2000. Esto representa una tasa de cambio del 0.47%. Por otro lado, la superficie de bosques tropicales disminuyó de 2, 049, 600 a 1, 730, 800 ha o bien, una tasa de cambio del 0.65 %. En un estudio más reciente, Mas et al. (2015) utilizaron mapas de cobertura y uso de suelo (CUS) de los años 2004, 2007 y 2014, para estimar la pérdida de la cubierta forestal en Michoacán. Sus resultados señalan una pérdida promedio anual de 6,600 ha de bosque durante el periodo 2004-2007, mientras que en el periodo 2007-2014, la tasa de deforestación disminuyó a cerca de las 3,000 ha anuales.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación plantea una propuesta metodológica para conocer la ubicación, la cantidad y las causas del proceso de deforestación, en el estado de Michoacán. Dicha información es fundamental para apoyar la toma de decisiones encaminadas a la remediación o mitigación, en cuanto a la deforestación se refiere. En términos académicos, se plantea la combinación de dos enfoques: uno orientado al uso de métodos estadísticos y otro, basado en observaciones directas y entrevistas. Es una propuesta extrapolable a otros sitios de estudio, lo cual puede contribuir de manera substancial al entendimiento de los procesos de deforestación. Analizar las causas del proceso de deforestación en Michoacán es importante, al ser uno de los estados que presenta elevadas tasas de deforestación a nivel nacional. Sirve como una medida de seguimiento a lo que históricamente se ha presentado, además de permitir reconocer los efectos de distintas variables sobre la cubierta forestal.

1.3. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Los cambios en la cubierta vegetal, especialmente la deforestación implica un aumento en la vulnerabilidad del paisaje en términos ambientales, económicos y sociopolíticos, lo cual ha motivado a los científicos y tomadores de decisiones, a desarrollar metodologías y herramientas que permitan entender, anticipar y prevenir sus efectos (Pontius et al., 2001; Lambin et al., 2003). Esto significa que las decisiones tomadas, son relevantes en la medida que permitan focalizar esfuerzos conjuntos (políticas públicas, investigación, estrategias de manejo, entre otras) en los lugares más amenazados por el proceso de cambio. Sin embargo, es común que las acciones que se llevan a cabo para remediar el problema sean fallidas, debido a la falta de información articulada que vincule los procesos ecológicos y los sistemas socioeconómicos.

Identificar las causas de la deforestación, ha implicado que distintas disciplinas científicas aborden el tema bajo perspectivas específicas. Por ejemplo, las ciencias sociales se enfocan en la comprensión de la relación humano-ambiente a micro escalas, mediante el uso de enfoques narrativos que les permiten explicar el proceso de cambio; mientras que ciencias como la geografía tratan de dimensionar este fenómeno, a partir de observaciones *in situ* auxiliadas por SIG y SPR (Nunes y Auge, 1999). Al respecto, Lambin et al. (2003) señalan que para poder entender a detalle el comportamiento del proceso de cambio, se deben combinar distintas perspectivas de análisis. El problema con esto es que la elección de uno o varios enfoques, se encuentra sujeta a los objetivos e intereses particulares de quienes dirigen la investigación. Esto ha implicado que la complejidad inherente a la deforestación sea simplificada (Lambin et al., 2003), lo que impide se formule un

marco conceptual lo suficientemente robusto, para explicar a profundidad las relaciones entre las distintas variables con el proceso de cambio.

1.4. OBJETIVOS GENERALES Y PARTICULARES

El objetivo general de este trabajo consiste en identificar las principales causas de la deforestación en el estado de Michoacán. A partir del objetivo general, se desglosan los siguientes objetivos particulares:

- a) Identificar focos de deforestación y reforestación en el estado de Michoacán, para dos cortes históricos: 2004-2007 y 2007-2014.
- b) Desarrollar un modelo para identificar la relación de la deforestación con los posibles factores del cambio.
- c) Seleccionar un caso de estudio concreto para analizar a nivel local, los patrones encontrados y explicar su relación con los factores asociados.

1.5. HIPÓTESIS

Los patrones de deforestación en el estado de Michoacán, responden de formas diferenciadas en el espacio y tiempo según los distintos factores asociados.

2. MARCO TEORICO DE REFERENCIA

2.1. ¿QUÉ ES LA DEFORESTACIÓN?

El término “deforestación” se utiliza de forma variable, ya que los países en el mundo adaptan el concepto de acuerdo a sus necesidades y/o a sus unidades político administrativas (Lund, 1999; Morales et al., 2014). Esto ha tenido implicaciones importantes respecto a las superficies estimadas. Sin embargo, pese a las decenas de definiciones (Lund, 1999), es importante mantener la coherencia con los datos obtenidos del pasado, a través de ciertas precisiones conceptuales. En este sentido, la FAO señala que la deforestación implica una “*conversión de los bosques³ a otro tipo de uso de la tierra o la reducción de la cubierta de copa, a menos del límite del 10 por ciento*” (FAO, 2010).

2.2. ¿CUÁLES SON LOS CONDUCTORES QUE PROMUEVEN LA DEFORESTACIÓN?

Para poder entender el proceso de deforestación, es necesario analizar cómo las personas utilizan los recursos y cuáles son los factores que determinan su decisión. En este sentido, muchos son los estudios que describen y explican los patrones de deforestación en distintas regiones alrededor del mundo (Meyer y Turner, 1992; Lambin, 1994; Mertens y Lambin, 1997; Geist y Lambin, 2001; Veldkamp y Lambin, 2001; Pineda et al., 2010; Pineda et al., 2011). Existe una gran cantidad de información, donde se identifican las causas generales detrás de este proceso, y aunque los

³ La FAO define a los bosques como: “una superficie mínima de tierra de 0.05 a 1 hectáreas con una cubierta de copas (o densidad equivalente) de más de 10 por ciento y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de 2 a 5 metros a su madurez in situ”.

enfoques utilizados son distintos, la literatura académica comparte la idea de clasificar las causas de la deforestación, en dos grandes grupos: factores o causas directas y factores o causas subyacentes.

Según Lambin et al. (2003), los factores directos, como su nombre lo indica, constituyen las actividades humanas o acciones inmediatas, que tienen un efecto directo sobre el uso del suelo y la cubierta vegetal. Por otro lado, los factores subyacentes resultan de una interacción compleja entre variables socioeconómicas, políticas, demográficas, tecnológicas, culturales y biofísicas, que conforman la condición inicial de la relación humano-ambiente. En términos de escala, los factores directos operan a nivel local (granjeros, individuos, hogares o comunidades), mientras que los factores subyacentes operan a escalas regionales (distritos, provincias o país) e inclusive a nivel mundial. En muchos de los casos, los factores subyacentes pueden presentarse en lugares remotos y llegar a ser impulsoras del CCUS, de tal modo que, a una escala local, el proceso de cambio queda fuera del control de los agentes.

En la figura 1 se observan las variables que, con mayor frecuencia, se asocian al deterioro de los bosques alrededor del mundo (Geist y Lambin, 2001). Las causas próximas engloban variables como la extensión de la infraestructura, la expansión agrícola y la explotación forestal, mientras que las causas subyacentes son variables de tipo demográficas, económicas, tecnológicas, institucionales y políticas públicas, así como variables de tipo cultural, que denotan las actitudes, valores, creencias y percepciones, que influyen sobre la toma de decisión para un uso de suelo determinado (Lambin et al., 2003). Existen otros tipos de factores asociados al proceso de CCUS, que tienen que ver con las condiciones biofísicas de un lugar en específico y que, además, pueden restringir o mejorar la expansión de la actividad humana sobre el territorio (Silvestrini et al., 2012; Sánchez-Cuervo y Aide, 2013). También se ha documentado que algunos detonantes sociales como los conflictos armados, los desplazamientos forzados y el abandono de tierras, tienen un efecto

importante sobre las condiciones forestales en el territorio, relacionados en algunos casos con un proceso de recuperación forestal (Sánchez-Cuervo et al., 2012; Sánchez-Cuervo y Aide, 2013).

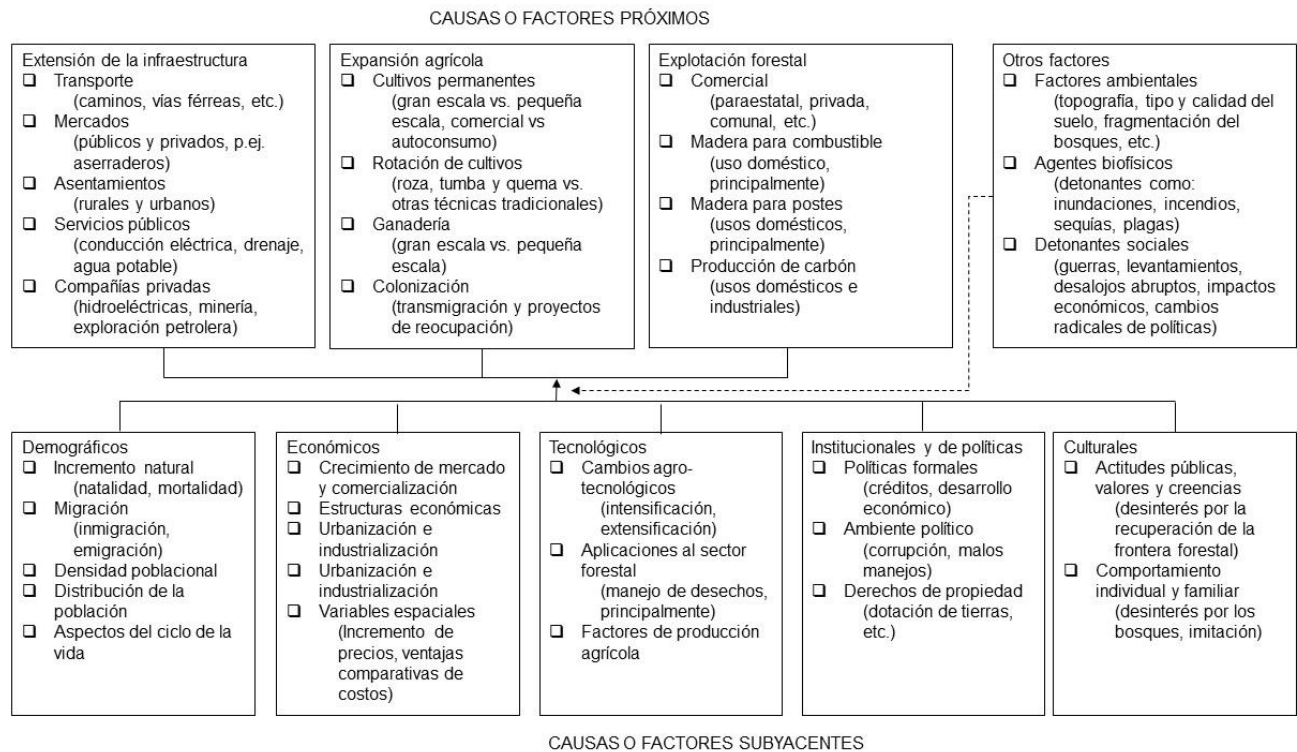


Figura 1. Diagrama que muestra las principales causas del deterioro de los bosques.

Fuente: Geist, H. J., y Lambin, E. F. (2002). A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. LUCR Report Series, 4.

2.3. MODELOS DE CAMBIO DE COBERTURA Y USO DE SUELO

En el caso del CCUS y la deforestación, se utilizan Modelos Espacialmente Explícitos (MEE) para analizar las interrelaciones entre los promotores del cambio con el medio ambiente (Duninnng et al., 1995; Turner et al., 1995; Uriarte et al., 2004; Zavala et al., 2006; Chorley y Haggett, 2013). En esta clase de MEE existen los LCMs (LandChangeModels, por sus siglas en inglés), los cuales, permiten simular el CCUS a través del espacio y del tiempo. Su objetivo es descubrir la dinámica

de los procesos que ocurren en el tiempo, para tratar de describir y explicar los patrones observados (Verburg y Veldkmanp, 2001; Mas et al., 2014; Mas et al., 2010; Soares-Filho et al., 2013).

Los LCMs son herramientas que científicos y tomadores de decisiones utilizan, en función del campo del conocimiento por el que son orientados. Al respecto, el Consejo Nacional de Investigación (NationalResearch Council [NRC], 2014) de los Estados Unidos, propone una clasificación de los diversos enfoques de modelación del CCUS, como resultado de una vasta revisión de literatura respecto al tema. Dichos enfoques se describen a continuación:

1. Enfoque estadístico y de aprendizaje automático, ambos utilizan observaciones del CCUS durante un periodo pasado para calibrar relaciones paramétricas o no paramétricas entre los cambios y los conductores espacio-temporales específicos (Mas, 1998; Fried et al., 2002; Weng, 2002; Pineda et al., 2010; Pineda et al., 2011; Lu et al., 2014).
2. El enfoque celular (autómatas celulares) integra mapas de idoneidad para una cobertura o uso de suelo específicos con efectos de vecindad, este tipo de LCMs permite prever los efectos, proyectar e identificar zonas susceptibles al cambio (White y Engelen, 1993; Wu, 1998; Li y Gar-On, 2002, Yang et al., 2014).
3. El enfoque basado en sectores económicos, utiliza modelos estructurales parciales y de equilibrio general, esto permite representar la oferta y la demanda de tierras por sectores económicos dentro de regiones, basados en la actividad económica y el comercio. Este enfoque se encuentra fuertemente limitado por la ausencia de datos espaciales, de hecho, el mayor provecho resulta de su utilización en parcelas experimentales sobre pequeñas áreas de estudio (Irwin y Geoghega, 2001; Newborn, 2005; Radloff, 2012; Jeuck et al., 2014).

4. Enfoque económico espacialmente desagregado, estima modelos econométricos para identificar relaciones causales que influyen en el equilibrio espacial de los sistemas de tierras⁴, de tal forma que estos se vuelven una unidad de gestión (Landis, 1995; Irwin y Geoghega, 2001).
5. Los modelos basados en agentes, simulan las decisiones y acciones de los actores en el CCUS que interactúan entre sí con la superficie terrestre, para provocar cambios en los sistemas de tierras (Parker et al., 2003; Valbuena et al., 2010; Maseda y Paleo, 2012).
6. El enfoque híbrido, combina dos o más enfoques en uno mismo para crear un único marco de trabajo (Castella y Verburg, 2007; Castella et al., 2007)

Los primeros dos enfoques, utilizan información obtenida de imágenes satelitales y la relación entre los cambios observados en el pasado. Aquí los SIG y SPR juegan un papel importante, en la elaboración de bases de datos espacio-temporales que sirvan de insumo en el análisis estadístico. Los siguientes tres enfoques utilizan información de las ciencias sociales, la cual está relacionada con las causas más próximas al proceso de CCUS. Los modelos obtenidos mediante estos enfoques suelen ser realistas, sin embargo, son difíciles de calibrar y validar, debido a que brindan información cualitativa sobre el fenómeno. El último enfoque, permite reunir las características de dos o más de los anteriores y con esto, centrarse sobre un único marco de trabajo.

Mas et al. (2014) señalan que los modelos pueden ser: “*dinámicos o estáticos, espaciales o no espaciales (i.e. explorar patrones contra tasas de cambio), inductivos o deductivos (i.e.*

⁴ Rowan (1990) define los sistemas de tierra como una unidad de mapeo compleja, la cual contiene un patrón de componentes biofísicos homogéneos como: el clima, la litología, formas de relieve, el suelo y la vegetación.

parámetros del modelo basados en correlaciones estadísticas contra descripciones explícitas del proceso), basados en agentes o basados en el análisis del patrón espacial (i.e. los agentes son una emulación de los tomadores de decisiones a nivel individual contra inferencias derivadas de procesos subyacentes hechas a partir de los patrones de CCUS)”.

Como podemos observar, existen una gran variedad de enfoques de modelación dentro de la literatura académica, cada uno responde a múltiples objetivos, utiliza diferentes técnicas y cuentan con bases teóricas que los fundamentan. Por ejemplo, la propuesta de Costa et al. (2009) distingue entre dos grandes enfoques que engloban a todos los anteriores: *top-down (arriba-abajo)*, orientado a patrones y *bottom-up (abajo-arriba)*, orientado a agentes (ver figura 2). El enfoque top-down utiliza SIG, SPR y datos censales, para obtener información de algún aspecto de la superficie terrestre, con el objetivo de encontrar patrones espaciales en el comportamiento de un sistema. Mientras que los enfoques bottom-up, describen explícitamente los actores que se encargan de modelar los cambios en el paisaje. Dichos enfoques pueden utilizarse para analizar el CCUS, sin embargo, la elección del enfoque adecuado dependerá de: (1) el objetivo del estudio y las preguntas de investigación, (2) el sistema que se desea estudiar, (3) los recursos y la disponibilidad de datos. Al respecto, Hersperger et al. (2010) describen con mayor detalle las directrices para seleccionar el modelo que mejor se ajuste a nuestra investigación, lo cual no es un proceso trivial, debido a que si no se elige el modelo adecuado, la investigación puede no ser factible, conducir a resultados no deseados e incluso, llegar a ser ineficiente.

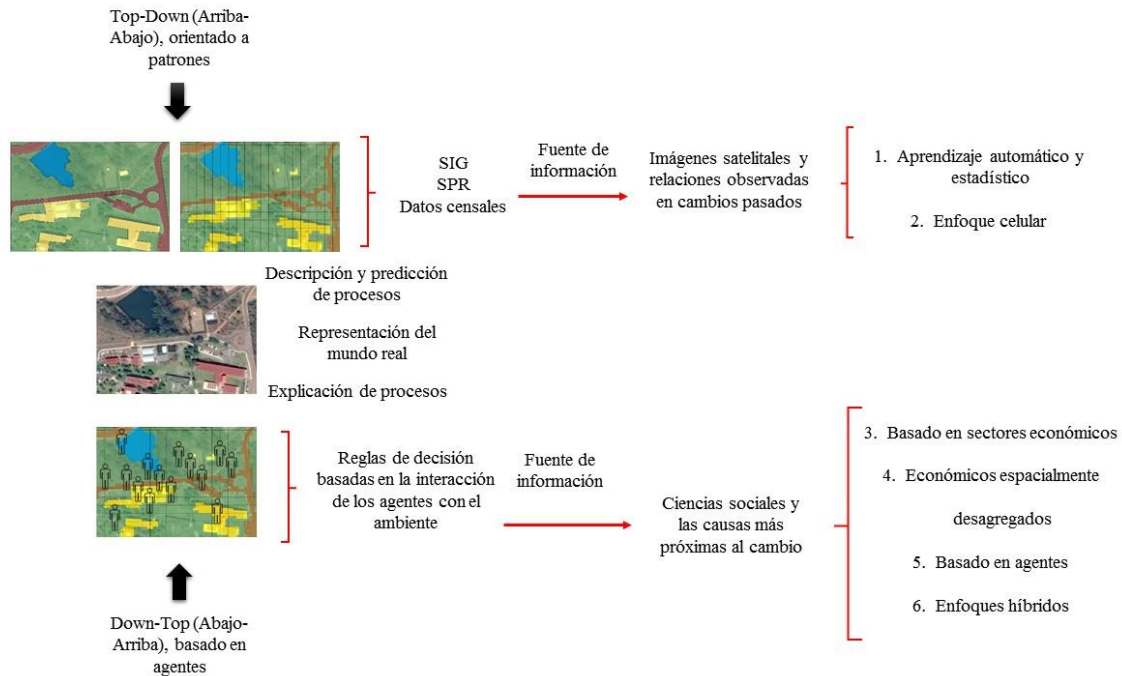


Figura 2. Dos grandes enfoques de modelación utilizados para explicar el proceso de CCUS.

2.4. MODELOS DE REGRESIÓN GEOGRÁFICAMENTE PONDERADA

La regresión geográficamente ponderada (GWR, por sus siglas en inglés) explora la “no estacionariedad” o “heterogeneidad espacial”, mediante la modelación espacial de las relaciones existentes entre una variable dependiente, y un conjunto de variables independientes a nivel local (Brunsdon et al., 1996). Esto supone una ventaja sobre los modelos de regresión global, ya que estos asumen que los procesos son constantes sobre el espacio (Fotheringham et al., 2002; Fotheringham y Rogerson, 2009; Lu et al., 2014). Sin embargo, este supuesto se encuentra sujeto a cuestionamientos, debido a que existen varias razones para sospechar que las relaciones varían sobre el espacio (Charlton et al., 2006). En este sentido, trabajar con estadísticas locales como la GWR, permite reconocer la complejidad de las relaciones espaciales mediante la aportación de pruebas empíricas, que describan tal complejidad (Charlton et al., 2006, Fotheringham et al., 2006).

Los modelos de regresión logística que utilizan datos espaciales (Lu et al., 2014), funcionan cuando una variable dependiente se comporta de forma dicotómica, en la cual se codifica como 1 la ocurrencia de un evento y como 0 la ausencia. En el caso de las variables independientes, los supuestos estadísticos son menos rígidos, al permitir que las variables independientes contengan valores dicotómicos, categóricos o continuos, en las cuales generalmente no se cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad. La ventaja de utilizar una GWR consiste en explorar los patrones espaciales observados, mediante el ajuste de una ecuación de regresión para cada unidad de análisis, con la finalidad de encontrar el grado en que el fenómeno de interés (deforestación) es favorecido (de forma positiva o negativa), por los factores que consideramos como directos o subyacentes. A partir de esto, se espera que una regresión logística sea capaz de *predecir correctamente la categoría de resultado para casos individuales utilizando el modelo más parsimonioso* (Menard, 2002).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Michoacán se localiza en la parte centro-oeste de México, colinda al norte con los estados de Guanajuato y Querétaro, al este con el estado de México, al sur con Guerrero, al sur oeste con el Océano Pacífico y al noroeste con Colima y Jalisco. La mayor parte de la superficie del estado se encuentra sobre dos provincias fisiográficas: la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico Transversal. Las alturas dentro del estado oscilan desde el nivel del mar hasta cerca de los 4,000 msnm. Su extensión territorial abarca aproximadamente 58 mil km², lo que equivale al 3 % del territorio nacional, se conforma por 113 municipios (figura 3) y alberga una cantidad

importante de áreas naturales protegidas, como lo son: reservas de la biosfera (Mariposa Monarca y Zicuirán-Infiernillo), parques nacionales (Barranca de Cupatitzio, Lago de Camécuaro, Bosencheve, Pico de Tancítaro, Rayón, Cerro de Garnica, Insurgente José María Morelos) y santuarios (Playa de Maruata, Colola y Mexiquillo).



Figura 3. Localización del área de estudio.

En el estado convergen cuatro tipos principales de climas: Aw (tropical lluvioso, con lluvias predominantes en verano) en el suroeste y BS (seco estepario) en la depresión del río Tepalcatepec, con Cw (templado con lluvias en verano) en el norte, Cf (templado con lluvias todo el año) en las partes más altas del Sistema Volcánico Transversal (Villaseñor, 2005). La interacción de la vegetación con los elementos geológicos, fisiográficos y climáticos de la región, permiten la existencia de una gran diversidad florística, de hecho se han identificado 8545 especies, 352

géneros y 100 familias de árboles, de los cuales las más importantes por el número de especies que contienen son: el bosque tropical caducifolio, el bosque de conífera y el bosque de *Quercus* (Cué-Bär et al, 2006).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010), Michoacán alberga poco más de 4,300,000 habitantes, de los cuales el 51.7 eran hombres y el 48.3 por ciento mujeres y a nivel nacional, Michoacán ocupa el lugar número nueve respecto al total de habitantes por estado. Hasta el año 2010 el 78 por ciento de la población vivía en zonas urbanas, mientras que el 22 por ciento restante en áreas rurales. En el estado hay registradas 136,608 personas que hablan alguna lengua indígena (purépecha, náhuatl, mazahua o lenguas mixtecas), de las cuales una parte importante se encuentra en condiciones de dispersión, asilamiento y pobreza. Las cifras de INEGI (2010) señalan que durante el periodo 1900 a 1950 Michoacán experimento un crecimiento poblacional lento, pasando de 0.9 a 1.4 millones de habitantes en cincuenta años, mientras que en el siguiente periodo de 1960 al 2010, el estado presentó un crecimiento exponencial pasando de 1.9 a 4.3 millones de habitantes. Hasta el año 2010 ocupaba el tercer puesto en intensidad migratoria hacia Estados Unidos, después de los estados de Zacatecas y Guanajuato, quienes ocupaban el primer y segundo puesto respectivamente (Moctezuma y Gaspar, 2013). La última encuesta intercensal de INEGI (2015), registró que el grado promedio escolar de la población de 15 años y más es de 7.9, lo cual equivale a casi el segundo año de secundaria concluido, mientras que 8 de cada 100 personas en este rango de edades no saben leer ni escribir.

Debido a su posición geográfica Michoacán es un estado con grandes contrastes físicos, lo que permite que converjan complejas estructuras ambientales, en las que se incluyen: cordilleras, mesetas, planicies, cuencas y litorales (Ramírez, 2013). Este conjunto de elementos, ha permitido la existencia de una gran variedad de recursos naturales (hídricos, edafológicos, florísticos,

hidrocarburos), los cuales han propiciado el ambiente adecuado para el desarrollo de algunas actividades económicas tanto del sector primario, secundario y terciario. En el caso de las actividades del sector primario, contribuyen con el 11.05 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) estatal, a través de actividades como: la agricultura de maíz, sorgo, aguacate, trigo y caña de azúcar, el aprovechamiento forestal y la producción pecuaria. Las actividades secundarias contribuyen con el 23.19 por ciento del PIB estatal, a partir del desarrollo de los subsectores mineros, de construcción y electricidad, mientras que las actividades terciarias contribuyen con el 65.76 por ciento del PIB. Este sector económico se privilegia por el atractivo turístico que caracteriza a Michoacán, lo que permite el desarrollo de actividades como: el comercio, la hotelería, el transporte, servicios bancarios, de almacenamiento y comunicación (Mercado y Palmerín, 2012). Todos estos elementos biofísicos, demográficos y económicos que se conjugan dentro del territorio michoacano, interactúan en un ambiente sinérgico para dar origen a una gran cantidad de procesos, sin embargo lo que a este trabajo refiere, únicamente se aborda el proceso de deforestación y su relación con los distintos factores asociados, ya que al menos hasta la década de los noventas, Michoacán presentaba una de las tasas de deforestación más elevadas a nivel nacional, e inclusive en América Latina (Bocco et al, 2001).

3.2. INSUMOS CARTOGRÁFICOS

En este trabajo se utilizaron mapas de CUS a escala 1:50,000, correspondientes a tres cortes históricos (2004, 2007 y 2014). Mas et al (2015) elaboraron dichos mapas a partir de un método híbrido que combina: la segmentación de imágenes satelitales (SPOT 5), la interpretación visual y el análisis espacial. Los mapas originales cuentan con un total de 25 categorías de CUS entre las cuales se incluyen: usos agrícolas, asentamientos humanos, distintos tipos de bosques y selvas, cuerpos de agua, manglares y en menor medida, comunidades vegetales de popal y tular, así como

zonas sin vegetación aparente (compuestas por suelo desnudo, bancos de material e infraestructura) (ver tabla 1). La evaluación de la fiabilidad global para los mapas de CUS fue próxima al 80%, lo cual representa un nivel superior al obtenido con otros métodos de clasificación (algoritmos automáticos de clasificación, segmentación de imágenes). La visualización y manipulación de los datos se realizó dentro del software QGIS, (QGIS Development Team, 2015). Para el análisis estadístico se utilizó el lenguaje y entorno de programación R (RCore Team, 2015).

Con el objetivo de mejorar la capacidad de procesamiento dentro del SIG, se crearon mapas de la cubierta forestal en formato raster con una resolución espacial de 100 metros, lo cual implicó asignar la categoría que predominaba en la superficie correspondiente al pixel. Utilizar una estructura de datos raster, permitió representar las categorías de CUS de una forma más compacta, las cuales posteriormente se reclasificaron a mapas binarios con valores de 0 para la superficie “no forestal” y 1, para la superficie “forestal” (tabla 1).

Tabla 1. Categorías de CUS elaboradas por Mas et al (2015).

Categoría de CUS	Código original	Código reclasificado	Categoría de CUS	Código original	Código reclasificado
Agricultura de riego	1	0	Bosque Pino encino / vegetación primaria	14	1
Agricultura de temporal	2	0	Bosque Pino encino / vegetación secundaria	15	1
Cultivo perene	3	0	Matorral subtropical	16	0
Asentamientos humanos	4	0	Matorral subtropical secundario	17	0
Pastizal inducido / pastizal cultivado	5	0	Selva baja caducifolia / vegetación primaria	18	1
Bosque de encino / vegetación primaria arbórea	6	1	Selva baja caducifolia / vegetación secundaria	19	1
Bosque de encino / vegetación secundaria herbácea	7	1	Selva mediana caducifolia / vegetación primaria	20	1
Bosque de oyamel primario	8	1	Selva mediana caducifolia / vegetación secundaria	21	1
Bosque de oyamel secundario	9	1	Cuerpos de agua	22	0
Bosque de pino / vegetación primaria	10	1	Manglar	23	0
Bosque de pino / vegetación secundaria	11	1	Popal-tular	24	0
Bosque mesófilo primario	12	1	Sin vegetación aparente	25	0
Bosque mesófilo secundario	13	1			

Los valores del 1 al 25 señalan las categorías originales elaboradas por Mas et al. (2015), mientras que los valores de 1 y 0, señalan las categorías que se consideraron como superficie forestal y no foresta en este estudio, respectivamente.

Con los mapas binarios se estimaron las pérdidas y ganancias brutas, así como el cambio neto en la superficie forestal para el estado de Michoacán. Los índices utilizados para describir el proceso de deforestación y reforestación a nivel estatal, se describen a continuación:

- Pérdida bruta relativa: Superficie forestal en la primera fecha (t_1) que pasó a superficie no forestal en la fecha 2 (t_2), normalizado por la superficie total de bosque en el t_1 , se expresa en porcentaje (%).
- Ganancia bruta relativa: Superficie no forestal en t_1 que se convirtió en superficie forestal durante t_2 , normalizado por la superficie forestal en t_1 , se expresa en porcentaje (%).

- Cambio neto relativo: El cambio neto es la diferencia de la superficie forestal en t_1 y en t_2 , normalizado por la superficie forestal en el t_1 .

3.3. RECOPIACIÓN DE LOS DATOS

Se recopiló un conjunto de variables que cubren distintos aspectos de la superficie terrestre, disponibles en los portales de internet de organismos públicos e instituciones académicas en México, tal es el caso de: el Registro Agrario Nacional (RAN), el Consejo Nacional de Población (CONAPO), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS) y el Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI), este último es justamente un actor clave para la obtención de información estadística y geográfica, a través del Sistema para la Consulta de Información Censal (SCIENCE, 2010). El SCIENCE permitió recabar 26 variables (tabla 2) que corresponden con las Áreas Geoestadística Básicas (AGEBS). Las variables consideradas dentro del análisis, fueron seleccionadas mediante la revisión de literatura, el conocimiento experto y la disponibilidad de datos. INEGI (2010) define las AGEBS como: “la extensión territorial perteneciente a la subdivisión de las Áreas Geoestadísticas Municipales y dependiendo de sus características, se clasifican en dos tipos; Áreas Geoestadísticas Básicas Urbanas⁵ y Áreas Geoestadísticas Básicas

⁵ Las Áreas Geoestadísticas Básicas Urbanas son definidas por INEGI (2010) como: “la extensión territorial, ocupada por un conjunto de manzanas que, generalmente son de 1 a 50, delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo fácil de identificar en el terreno y cuyo uso del suelo sea principalmente habitacional, industrial, de servicios y comercial, sólo se asigna al interior de las localidades urbanas”.

Rurales⁶”. Las variables del SCIENCE originalmente se encontraban en formato tabular, sin embargo, mediante sistema de información geográfica, se unieron con los límites cartográficos que corresponden con las AGEBS con la clave correspondiente en las variables del SCIENCE. En este sentido, las AGEBS rurales fueron la unidad de análisis en este trabajo, las cuales son únicas dentro de cada municipio independientemente de su clasificación.

Tabla 2. Variables económicas y demográficas obtenidas a nivel de AGEBS (rurales y urbanas), en el estado de Michoacán.

Variable	Descripción
POB1	Población total
POB8	Población de 0 a 14 años
POB12	Población de 15 a 64 años
POB18	Población de 5 años y más
POB24	Población de 65 años y más
POB31	Población femenina
POB57	Población masculina
POB78	Población masculina de 25 años y más
MIG11	Población de 5 años y más residente en otra entidad en junio de 2005
MIG15	Población de 5 años y más residente en Estados Unidos de América en junio de 2005
IND10	Población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena
IND19	Hogares censales indígenas
EDU28	Población de 15 años y más analfabeta
EDU46	Población de 25 años y más con al menos un grado aprobado en educación superior
ECO1	Población económicamente activa
ECO4	Población cupada
ECO5	Población femenina ocupada
ECO6	Población masculina ocupada
ECO25	Población desocupada

⁶ Las Áreas Geoestadísticas Básicas Rurales son definidas por INEGI (2010) como: “la extensión territorial, que corresponde a la subdivisión de las áreas geoestadísticas municipales, donde se ubica la parte rural, cuya extensión territorial en promedio es de 11 000 hectáreas y se caracteriza por el uso del suelo de tipo agropecuario o forestal, contiene localidades rurales y extensiones naturales como pantanos, lagos, desiertos, marismas, estuarios, selvas y/o manglares, delimitada por rasgos naturales (ríos, arroyos y barrancas) y culturales (vías de ferrocarril, líneas de conducción eléctrica, carreteras, brechas, veredas, ductos y límites prediales), en los cuales pueden no existir localidades”.

SALUD1	Población derechohabiente a servicios de salud
SALUD2	Población sin derechohabiencia a servicios de salud
HOGAR1	Total de hogares censales
HOGAR2	Hogares censales con jefatura femenina
VIV0	Total de viviendas
VIV2	Viviendas particulares habitadas
VIV28	Viviendas particulares habitadas que disponen de internet

De acuerdo con Geist y Lambin (2002), se clasificaron el total de variables utilizadas de la siguiente manera: demográficas, económicas, biofísicas, políticas institucionales y de proximidad (tabla 3). Para el cálculo de los indicadores demográficos y económicos, se utilizó la información del SCIENCE, mientras que para las variables biofísicas y de proximidad se utilizaron superficies continuas en archivos raster. A partir de estos se extrajo la mediana a nivel de AGEb, ya que es una medida estadística que no se ve afectada por la oscilación de los valores existentes en cada variable y se recomienda su uso, cuando el conjunto total de observaciones es muy heterogéneo. Para las variables de tenencia de la tierra y política pública, se utilizó la suma total de superficie correspondiente a cada AGEb.

Tabla 3. Variables utilizadas para explicar el proceso de deforestación en el estado de Michoacán durante los periodos 2004-2007 y 2007-2014.

Variable	Descripción	Fuente
Demográficas		
V1	Relación de dependencia ((POB8+POB24)/POB12)	INEGI
V2	Porcentaje de población de 65 años y más (POB24/POB1)	INEGI
V3	Índice de masculinidad (POB57/POB31)	INEGI
V4	Porcentaje de población de 5 años y más residente en otra entidad en junio de 2005 (MIG15/POB18)	INEGI
V5	Porcentaje de población de 5 años y más residente en Estados Unidos de América en junio de 2005 (MIG15/POB18)	INEGI
V6	Porcentaje de población de 5 años y más que habla alguna lengua indígena (IND10/POB18)	INEGI
V7	Porcentaje de hogares censales indígenas (IND19/HOGAR1)	INEGI
V8	Porcentaje de población de 15 años y más analfabeta (EDU28/(POB12+POB24))	INEGI
V9	Porcentaje de población sin derecho habiencia a servicios de salud (SALUD2/POB1)	INEGI
V10	Porcentaje de hogares censales con jefatura femenina (HOGAR2/HOGAR1)	INEGI
V11	Porcentaje de viviendas particulares deshabitadas ((VIV0-VIV2)/HOGAR1)	INEGI
V12	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de internet (VIV28/VIV2)	INEGI
Económicos		
V13	Porcentaje de población ocupada (ECO4/ECO1)	
V14	Porcentaje de población femenina ocupada (ECO5/ECO1)	
V15	Mujeres ocupadas por cada 100 hombres (ECO5/ECO6)	
V16	Porcentaje de población desocupada (ECO25/ECO1)	
Biofísicas		
DEM	Elevación (msnm)	INEGI
PRECIPIT	Mediana de la precipitación media anual por AGEB	UNIATMOS (2016)
SLOPE	Mediana del porcentaje de pendiente por AGEB	INEGI
TEMPMEDIA	Mediana de la temperatura promedio anual registrada durante el periodo 1902-2011 por AGEB	Fernández - Eguiarte et al (2016).
Proximidad		
DISTLOCURUR	Mediana de la distancia euclidiana al conjunto total de localidades rurales por AGEB	INEGI
AHRDIST	Mediana de la distancia euclidiana a cada polígono de los asentamientos humanos rurales por AGEB	INEGI
AHUDIST	Mediana de la distancia euclidiana a cada polígono de los asentamientos humanos urbanos por AGEB	INEGI
REDVIAL	Mediana de la distancia a la red de caminos por AGEB	
POBTOT05	Mediana de Población total a nivel localidad durante el año 2005	INEGI
Tenencia de la tierra		
EJIDOSAH	Superficie ejidal total por AGEB destinada para asentamientos humanos	RAN
EJIDOSUC	Superficie ejidal total por AGEB destinada para uso común	RAN
EJIDOSZP	Superficie ejidal total por AGEB parcelada para uso agrícola	RAN
PROPEJIDAL	Superficie ejidal total por AGEB	RAN
PROPFUERA	Superficie total no ejidal por AGEB	Elaboración propia.

Política pública

ANP

Superficie total por AGEB correspondiente a las áreas naturales protegidas

CONANP

ANPFUERA

Superficie total por AGEB fuera del área natural protegida

Elaboración
propia

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.4.1. ZONAS CON MAYOR TASA DE DEFORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN: ESTADÍSTICO DE GETIS-ORD

A medida que la variación espacial de las observaciones locales aumenta, la fiabilidad de la observación global como representativos de las condiciones locales disminuye (Fotheringham et al, 2002). Lo anterior, puede provocar que los patrones locales sea susceptibles de pasar desapercibidos, sobre todo, cuando se trabaja sobre superficies muy extensas. De hecho, podríamos señalar que la dependencia espacial puede variar de forma significativa a través del espacio, por tal motivo lo deseable es señalar la heterogeneidad espacial (Songchitruksa y Zeng, 2010). Al respecto, se han desarrollado estadísticos que permiten identificar patrones locales en la distribución espacial de algún fenómeno, como el caso del estadístico G_i^* , que evalúa el promedio local entre un contexto de entidades vecinas y posteriormente, lo compara contra el promedio del conjunto total de observaciones (Getis y Ord, 1992),

El objetivo del estadístico G_i^* es evaluar la aleatoriedad espacial. Para ello se debe establecer un nivel de confianza, normalmente de 90, 95 o 99 por ciento. Para cada nivel de confianza, existe una probabilidad (tabla 4) de que las variaciones de los patrones observados provengan del azar. Posteriormente se estima un valor estandarizado z o z -score, que se calcula a partir de las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3. Los valores de z representan la desviación estándar entre las cuales, podríamos esperar la probabilidad de que la variación local del fenómeno observado provenga del azar. Los rangos de desviación estándar, se definen con el nivel de confianza. Cuando se obtienen

valores de z altos o bajos (negativos) en conjunto con probabilidades pequeñas, se rechaza la hipótesis de aleatoriedad al ser poco probable que el fenómeno observado provenga del azar (ver figura 4).

Tabla 4. Rangos de valores de z y valor de probabilidad, de acuerdo con el nivel de confianza seleccionado.

Valores de z	Valor p (probabilidad)	Nivel de confianza
< -1.65 o > 1.65	0.1	90%
< -1.96 o > 1.96	0.05	95%
< -2.58 o > 2.58	0.01	99%

Fuente: Mitchell, A. (2005). La Guía de Esri para el análisis SIG.

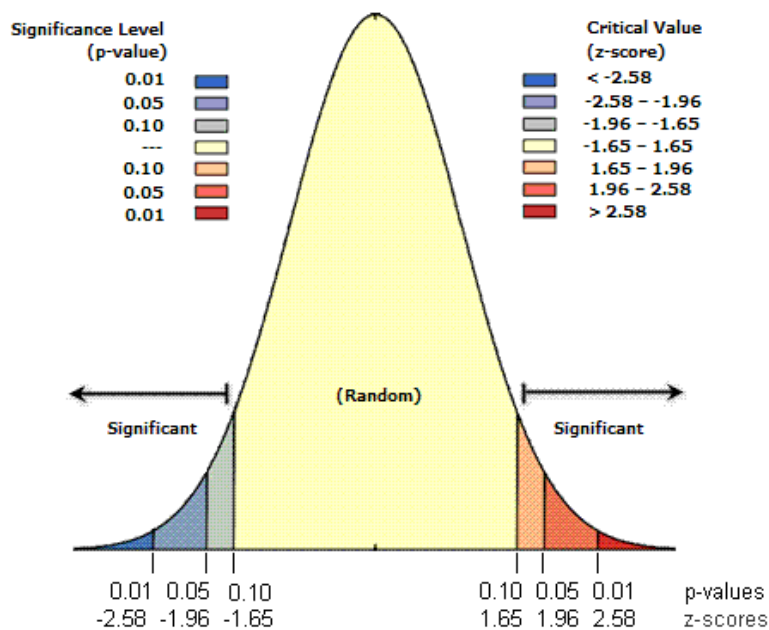


Figura 4. Gráfico de distribución de probabilidad normal estándar, entre los rangos positivos o negativos de valores z. Fuente: Mitchell, A. (2005). La Guía de Esri para el análisis SIG.

A partir de las puntuaciones z , se identificaron agrupaciones espaciales donde los indicadores de cambio (cambio neto, pérdida bruta y ganancia bruta) se encuentran fuera del promedio global, ya sea de forma inferior o superior. Esto corresponde con puntos fríos (*cold spots*) o puntos calientes (*hot spots*), respectivamente. Las agrupaciones que resultaron estadísticamente significativas, representan los patrones espaciales que podemos esperar que no provengan del azar. Para los geógrafos o analistas de información geográfica, los resultados estadísticamente significativos son los que más interesan, ya que sirven de evidencia para explorar los procesos subyacentes, que dan lugar a dicho comportamiento espacial (Mitchell, 2005). En este sentido, se utilizó el estadístico de G_i^* para mapear la distribución espacial de los indicadores de cambio e identificar principalmente, la presencia de áreas con las mayores tasas de deforestación (*hot spot*).

$$Z(G_i^*) = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (2.1)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (2.2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (2.3)$$

Donde,

$Z(G_i^*)$: Estadístico de Getis Ord que describe la dependencia espacial entre un incidente i y n número de eventos.

$W_{i,j}$: Peso espacial definido por la distancia entre la observación i y j .

x_j : Frecuencia de la localización j .

\bar{X} : El promedio del total de las observaciones.

S: La desviación estándar de la observación x_j .

n: El número total de observaciones.

Debido a la cantidad de tiempo necesaria para llevar a cabo este análisis, fue necesario remuestrear los archivos raster a resolución espacial de 1 km² por píxel. Para una correcta aplicación del estadístico de Getis-Ord, es necesario especificar una distancia que permita considerar al menos 30 vecinos, cuando el número de observaciones sea lo suficientemente grande. Sin embargo, cuando el número de observaciones es pequeño se recomienda utilizar 8 vecinos, con el objetivo de evitar caer en errores de inferencia sobre las pruebas estadísticas. A partir de aquí, se utilizó una distancia de 10 km que permitió seleccionar los 100 vecinos más cercanos, para el cálculo del estadístico de G_i^* .

3.4.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Para elaborar modelos de regresión geográfica como GWR, se debe seleccionar un conjunto de variables independientes, que tienen mayor efecto sobre la variable dependiente. Para ello, es necesario reducir su número. Sin embargo, existe el riesgo de experimentar efectos de multicolinealidad al conservar un número elevado de variables, o sesgar los resultados por la omisión de algunas de ellas (Fotheringham et al., 2010). Existen varias opciones para este proceso (eliminación progresiva, introducción progresiva o regresión paso a paso), las cuales, no siempre son las más óptimas cuando se trabaja con datos espaciales. En algunos casos las variables independientes pueden presentar multicolinealidad local y en otros, auxilian localmente a explicar los procesos que se estén analizando. En una GWR, la situación es más compleja, ya que una

variable puede mejorar un ajuste local, pero difícilmente un ajuste global. Por otro lado, los métodos en los que se prueben todas las combinaciones posibles, para seleccionar el conjunto de variables explicativas, no son accesibles en este paquete, ya que demandan una gran cantidad de tiempo de ejecución. En este sentido se calibró un modelo de regresión logística que utiliza datos espaciales (GWR), mediante el método expuesto en Lu et al. (2014). Para ello, se reclasificaron el conjunto total de AGEBS en dos categorías: deforestado o no deforestado. En este caso, se asignó un valor de 0 cuando en un AGEB la pérdida de bosque registrada fuera inferior al 2.5 por ciento respecto a la superficie original y un valor de 1, cuando la pérdida fuera superior a dicho umbral. Este porcentaje de pérdida de la cubierta forestal, es un umbral que no oculta el proceso de deforestación antes de agregar los datos a nivel de AGEB. Si el umbral es mayor, entonces la mayoría de los AGEBS aparecen sin deforestación. El ajuste del modelo de regresión, consistió de tres etapas:

Etapas 1. Selección de variables explicativas: A partir de la revisión bibliográfica y la disponibilidad de información espacial, fueron seleccionadas 32 variables potencialmente explicativas (tabla 3). Se redujo el número de variables mediante un análisis de correlación global, mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman, primero entre pares de variables independientes y después, entre la tasa de deforestación con las variables independientes. Los criterios fueron: seleccionar las variables menos correlacionadas entre sí, sin embargo, cuando entre el conjunto existieran pares de variables independientes con un coeficiente de correlación superior a 0.8 (tabla 5), fueron seleccionadas las que, a partir de conocimiento experto, consideramos se relacionan más con el proceso de deforestación. En un segundo paso, se seleccionaron las variables independientes con una correlación superior a 0.2 con la tasa de deforestación (tabla 6) y de nuevo, se repitió el primer paso, aunque en esta ocasión se utilizó un umbral de correlación de 0.6 (tabla 7). Estos criterios estadísticos permitieron disminuir el número

de variables a 11, sin embargo el problema de multicolinealidad local fue persistente y para lidiar con ello, se trabajó la siguiente etapa del análisis de regresión.

Etapa 2. Análisis de multicolinealidad: La multicolinealidad se presenta cuando en un modelo de regresión, las variables independientes están altamente correlacionadas entre sí. Cuando existe, los coeficientes de regresión se vuelven sensibles ante ligeros cambios en los datos, lo cual incrementa su varianza y los hace inestables. Si existen problemas de multicolinealidad, será difícil establecer la significancia estadística sobre la aportación de las variables independientes, al modelo de regresión. Se crearon varios índices estadísticos para detectar problemas de colinealidad. Según Belsley y Welsch (1980), existen problemas de multicolinealidad cuando: las correlaciones locales absolutas son superiores a 0.8 (Spearman > 0.8), el valor de inflación de la varianza (VIF) sea mayor a 10 (VIF > 10), la proporción de descomposición de la varianza (VDP) mayor a 0.5 (VDP > 0.5) y el número de condición local (CN) mayor a 30 (CN > 30). Además, se consideró el criterio de información de Akaike (AIC), el cual permitió definir entre los modelos posibles, el que mejor se ajusta a los datos, es decir, permite hacer un balance entre el ajuste del modelo y el número de variables. En la GWR, se generan iterativamente varios modelos, de tal forma que se reduce la complejidad del modelo y mantiene el principio de parsimonia (Menard, 2002).

Etapa 3. Ajuste del modelo GWR: Con el conjunto de variables seleccionadas, se ajustó un modelo de regresión mediante el software R y las librerías *GWmodel* y *spgwr*. La técnica de modelación que se utilizó en este trabajo, es referida en la literatura como GWLR (Geographically Weighted Logistic Regression), la cual explora la relación entre una variable dependiente cualitativa y dicotómica, contra un conjunto de variables independientes cualitativas o cuantitativas (Fotheringham et al., 2002; Zhang&Gu 2013; Rodrigues et al., 2014). Para poder estimar las estadísticas locales, es necesario definir un ancho de banda (BW, por sus siglas en inglés), el cual funciona como una ventana móvil que agrupa el número de observaciones establecidas. El BW

más adecuado depende de: el tipo de Kernel, en este caso adaptativo para considerar un número fijo de vecinos (cantidad) y no una distancia; una función para estimar la ponderación geográfica, en este caso *bi-square*; por último el método por el cual se estimará el BW, cabe mencionar que la librería *spgwr* solo permite utilizar el método de tabulación cruzada (para más detalle consultar Forteringham et al., 2002).

Para poder desarrollar el modelo se consideró a cada AGEB como deforestado o no deforestado, así como el conjunto de variables predictivas (tabla 3). El modelo GWLR tiene como base una ecuación de regresión logística global:

$$y_i = \frac{e(\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_k x_{ki})}{1 + e(\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_k x_{ki})} \quad (2.4)$$

por lo tanto la ecuación GWLR se expresa de la siguiente manera:

$$y_i = \frac{e(\beta_0(\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i) + \beta_1(\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i)x_{1i} + \dots + \beta_k(\mathbf{u}_{ki}, \mathbf{v}_{ki})x_{ki})}{1 + e(\beta_0(\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i) + \beta_1(\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i)x_{1i} + \dots + \beta_k(\mathbf{u}_{ki}, \mathbf{v}_{ki})x_{ki})} \quad (2.5)$$

donde $(\mathbf{u}_i, \mathbf{v}_i)$ representan las coordenadas en el espacio del punto i . De esta manera la GWLR permitió obtener los coeficientes de regresión para cada ubicación en el área de estudio y posteriormente, observar la variación espacial de los coeficientes de regresión en función de un punto y sus vecinos más cercanos. En este caso, la influencia de los vecinos está determinada por la distancia a un punto central i , lo que se conoce como ancho de banda (Fotheringham et al, 2002). En las librerías *GWmodel* y *spgwr*, existen dos posibilidades para seleccionar el ancho de banda que permite el mejor ajuste del modelo. El primero es reducir al mínimo el cuadrado de residuales con una validación cruzada y el segundo, reducir al mínimo el AIC (Rodrigues et al., 2014). En este caso, para seleccionar el modelo que mejor se ajusta a los datos se utilizó el mínimo de AIC.

Etapas 4. Prueba de Monte Carlo para la significancia estadística: Monte Carlo es una prueba estadística para probar la no estacionariedad espacial, con la cual se confirma si los resultados de una GWR son estadísticamente significativos o si son artefactos de la variación aleatoria en los datos (Lu et al., 2014). Para ello se estimó una GWR con modelos locales en la localización de cada AGEB; después a cada unidad espacial se le asignó aleatoriamente un conjunto de datos procedentes de otra observación y se calculó de nuevo una GWR, los resultados fueron comparados con los originales, este proceso se repitió 99 veces. Si los coeficientes de cada variable en el modelo GWR verdadero, se encontraron sobre la cola superior o inferior del 0.5, 2.5 o 5% de la distribución en los datos aleatorizados, entonces puede decirse que son estadísticamente significativos con un 99, 95 y 90% de confianza respectivamente.

4. RESULTADOS

4.1. MAPAS DE CAMBIO

Las tasas de deforestación para cada AGEB durante el periodo 2004 a 2007 oscilan entre el 0 y el 40 por ciento (figura 5), gran parte de los cambios se registraron en la región centro de Michoacán, en los municipios de Uruapan, Ziracuaretiro, Taretan, Salvador Escalante, el norte de Ario de Rosales y hacia la región sierra costa, sobre los municipios de Aquila y Chinicuila. En el periodo 2007 a 2014 las tasas de deforestación disminuyeron entre un 0 y 12 por ciento (figura 6). El AGEB con la mayor tasa de deforestación anual en el segundo periodo fue del 12 por ciento, el cual se localiza sobre el municipio de Morelia y corresponde con la construcción de un fraccionamiento de 154 ha aproximadamente. Para corroborar lo anterior, hicimos un acercamiento con imágenes de Google Earth (ver figura 7), sobre las fechas 2007 (a la izquierda) y 2014 (a la derecha).

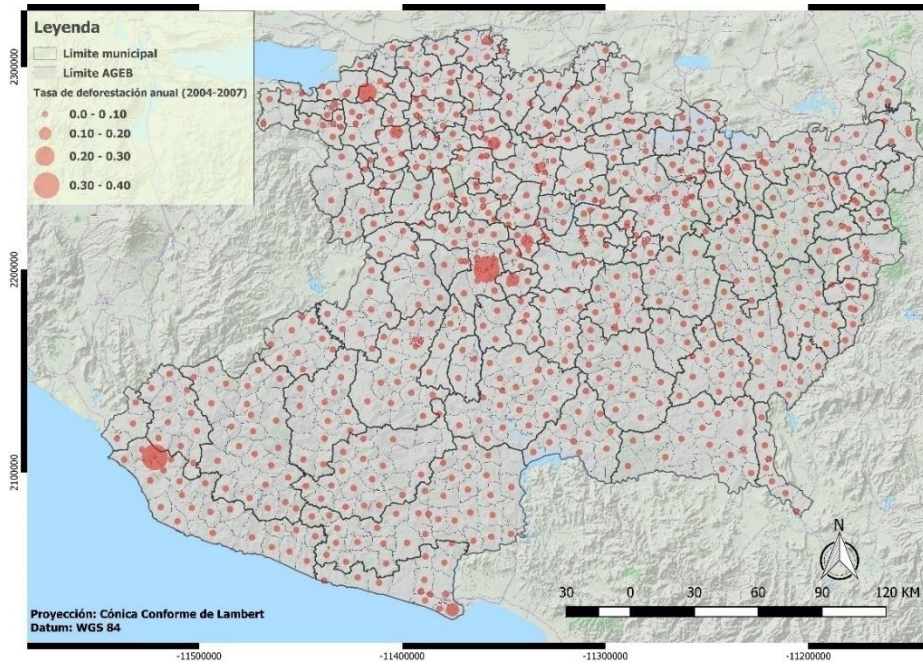


Figura 5. Tasas de deforestación en el estado de Michoacán durante el periodo 2004-2007.

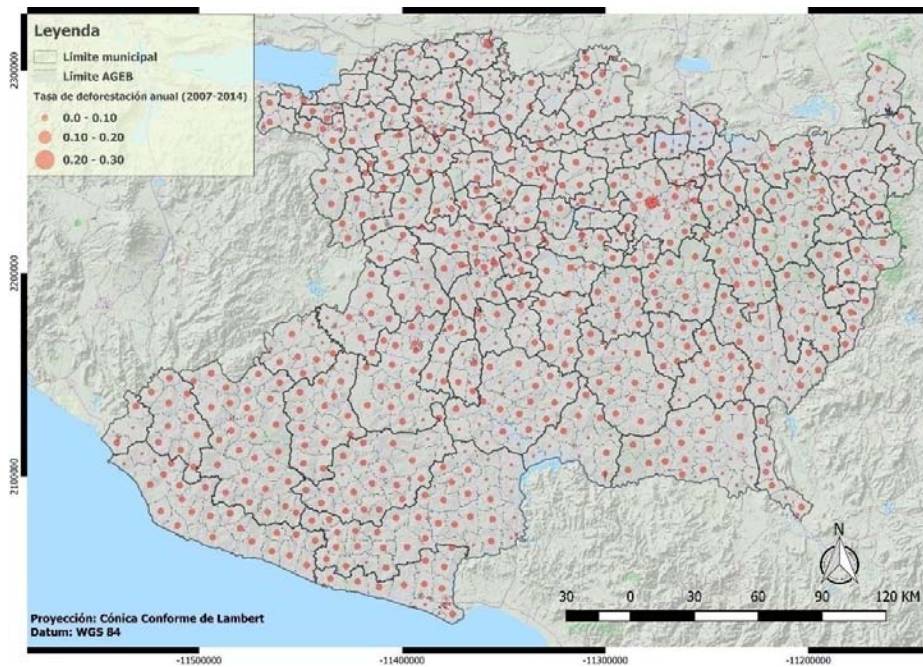


Figura 6. Tasas de deforestación en el estado de Michoacán durante el periodo 2007-2014.



Figura 7. En la figura de arriba se observa el cambio en la cubierta forestal del año 2007 a uso urbano en el año 2014.

4.2. FOCOS DE DEFORESTACIÓN

Mediante el estadístico G_i^* , se identificaron las zonas donde los indicadores de cambio se encuentran fuera del promedio global, ya sea de forma superior o inferior. En la figura 8 se observan los mapas comparativos de los indicadores de cambio durante los periodos 2004-2007 y 2007-2014. Las zonas en color rojo representan los valores más altos de los distintos indicadores, mientras que los colores verdes los valores más bajos. Cabe señalar que se detectaron un gran número de AGEBS sin cambios o con cambios mínimos, por lo que el valor de G_i^* fue de cero o próximo a cero, en los mapas aparece con tonalidades de verde claro. Los focos de deforestación coinciden con las zonas identificadas anteriormente (figuras 5 y 6), a excepción de los AGEBS en los municipios del norte, en los cuales durante el periodo 2004-2007 se registraron tasas de entre el 10 y 30 por ciento. La razón de que el estadístico de G_i^* no identificó estas zonas como puntos calientes o fríos, se debe a que son eventos particulares que no tiene parecido con respecto a lo que pasa en los AGEBS vecinos. Aunque el estadístico G_i^* se utiliza en el Análisis Exploratorio de Datos

Espaciales (AEDE), no brinda evidencia suficiente para conocer lo que ocurre en cualquiera caso de asociación espacial local (Getis y Ord, 1992). En cuanto a los focos de reforestación del periodo 2007-2014, destaca una región en el municipio de Aguililla, mientras que los focos de cambio neto son muy parecidos a los focos de deforestación, lo cual significa que aunque existen superficies que ganan una pequeña proporción de bosque, es la pérdida de cubierta forestal la que domina.

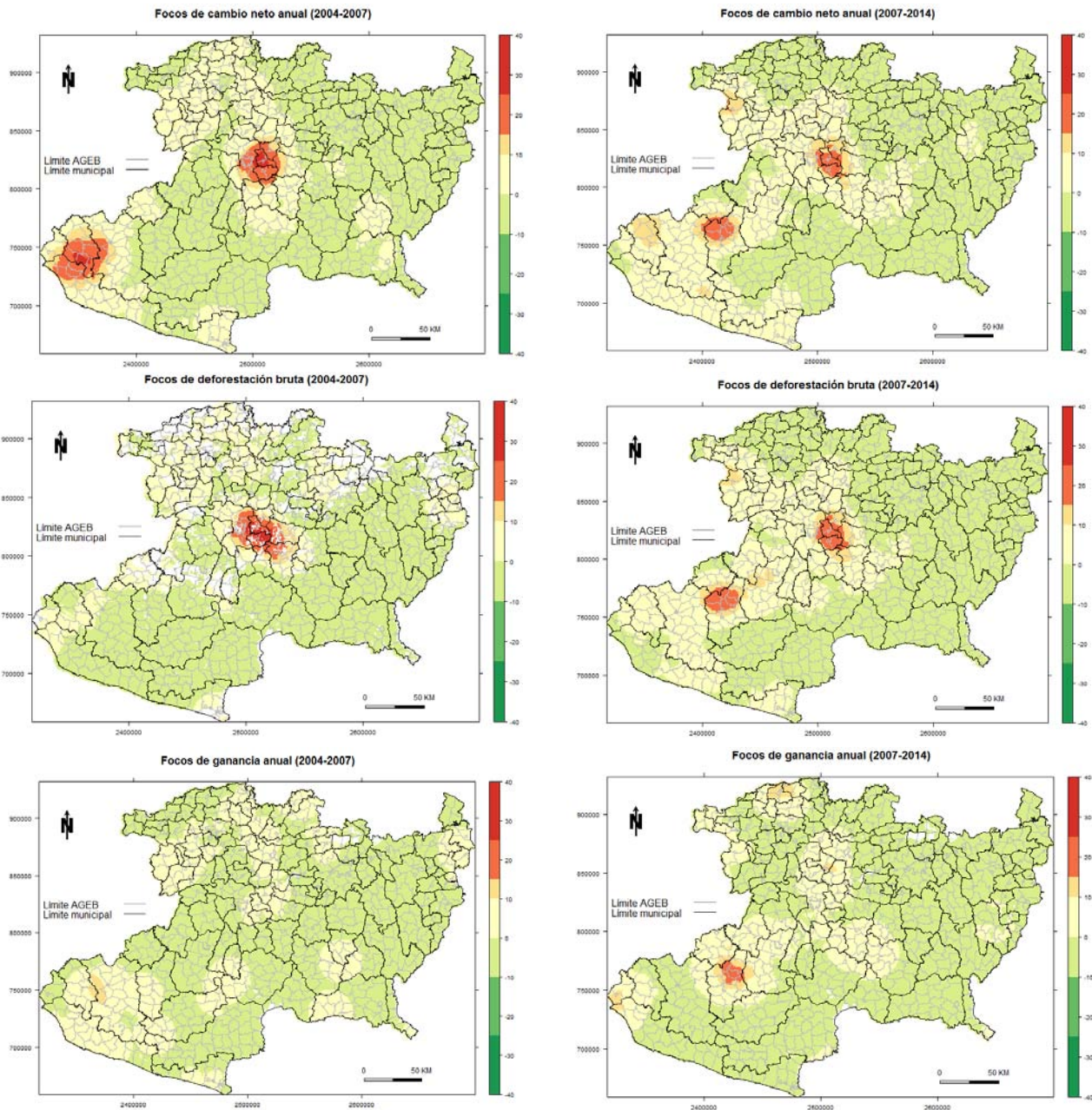


Figura 8. Mapas comparativos de los indicadores de cambio.

Los dos principales focos de deforestación que se observan en la figura 8, están fuertemente asociados con actividades agrícolas, en el caso de la región centro, se favorecen los cultivos de exportación (como el aguacate). Por otro lado, la situación en la región sudoeste es un poco más compleja, claramente se observan pérdidas y ganancias en el periodo 2007-2014. Sin embargo, esto corresponde con el municipio de Aguililla, que tiene actividades productivas agrícolas y pecuarias, así como el aprovechamiento forestal, el cual deriva en la producción de resina y la industria maderera. Respecto al proceso de ganancia forestal, se favorece por presencia de programas de reforestación y restauración con altos niveles de eficacia.

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y ESPACIAL DE LOS CONDUCTORES DE LA DEFORESTACIÓN

En la tabla 5 aparecen los pares de variables que tuvieron un coeficiente de correlación superior a 0.8 y en la tabla 6, aquellas con un coeficiente de correlación con la tasa de deforestación superior al valor absoluto de 0.2. A partir de aquí se descartaron algunas variables, sin embargo para reducir el problema de multicolinealidad, se calculó de nuevo el coeficiente de correlación de Spearman entre las variables independientes. En esta ocasión se redujo el umbral de correlación a 0.6 (tabla 7).

Tabla 5. Muestra los pares de variables que presentaron un coeficiente de correlación de Spearman superior a 0.8.

Variable 1	Variable 2	Correlación de Spearman
V12	V16	0.82
DEM	TEMPMEDIA	-0.98

Tabla 6. Muestra el coeficiente de correlación de Spearman que fue superior a 0.2 entre la variable de cambio y las variables independientes.

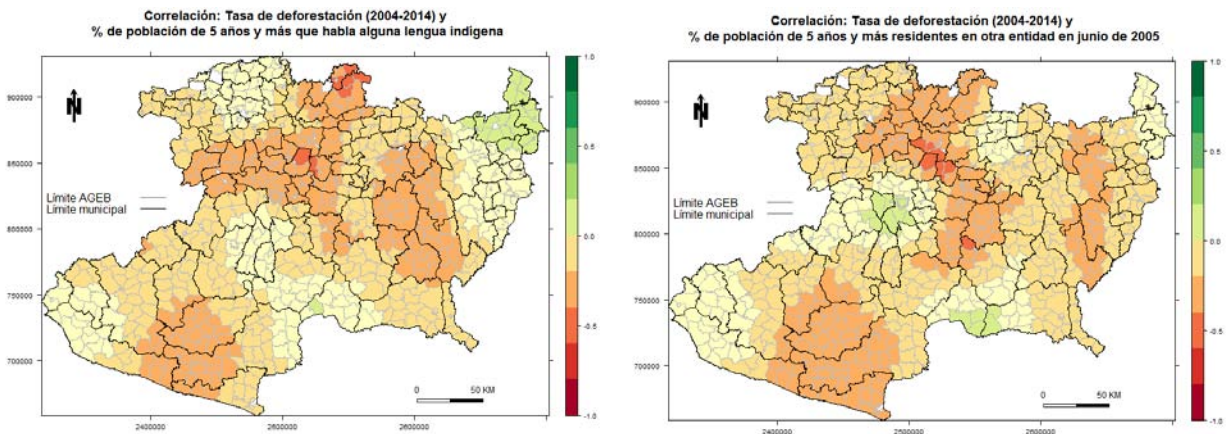
Variable independiente	Correlación de Spearman
V16	-0.21
MEAHUDISTA	0.24

Tabla 7. Muestra los pares de variables con un coeficiente de correlación de Spearman superior a 0.6.

Variable 1	Variable 2	Correlación Spearman
V2	V5	0.73
V2	V11	0.69
V2	V14	0.69
V2	V16	0.66
V2	V18	0.61
V4	V14	0.64
V4	V16	0.67
V5	V11	0.69
V5	V14	0.67
V5	V16	0.71
V5	V18	0.64
V11	V14	0.66
V11	V16	0.67
V14	V16	0.71
MEAHUDISTA	MEDISTANCE	0.7
MEEJIDOSAH	MEEJIDOSZP	0.65

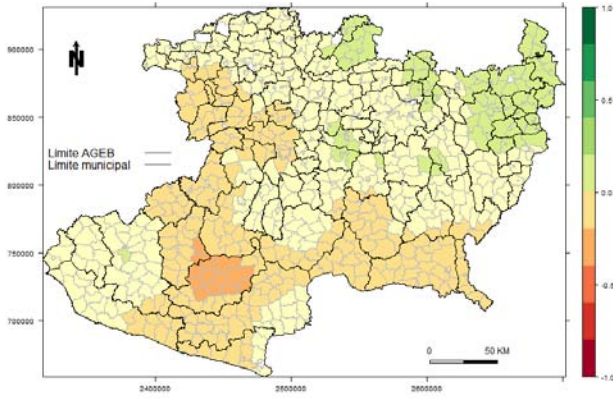
El análisis de correlación permitió reducir el número de variables de 36 a 11, con las cuales se trabajó el problema de multicolinealidad. Para ello, se mapeó el coeficiente de correlación de Spearman local (para el periodo 2004-2014) en busca de patrones espaciales, de esta forma se aportaron elementos a favor de la hipótesis planteada. En la figura 9 se observa cómo los coeficientes de correlación varían en el espacio, esto significa que las tasas de deforestación

responden de forma diferencial ante los distintos conductores del cambio⁷. Se calculó el coeficiente de correlación de Spearman global (tabla 7) y AIC (figura 11). Los criterios anteriores, en conjunto con la revisión de literatura y la opinión de expertos, nos permitieron ajustar un modelo de regresión logística con valores de CN menores a 30 y VIF menor a 10, para cada variable. Sin embargo, pese al exhaustivo análisis experimental, no logramos que el valor máximo de VDP fuera inferior a 0.5 para todas las variables. En la tabla 8 se presenta un resumen del comportamiento de los indicadores de multicolinealidad (VIF y VDP), para cada variable que se consideró en la GWR.

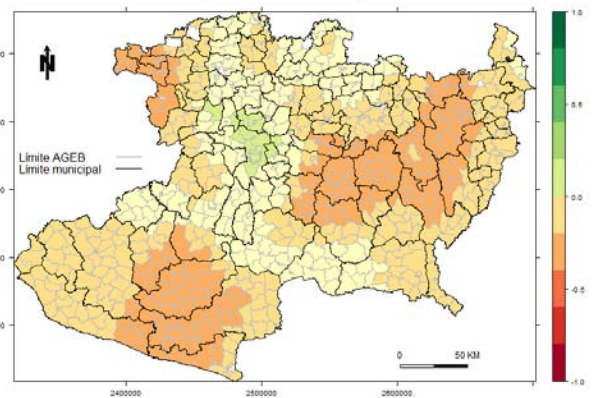


⁷ En esta ocasión los colores se invirtieron respecto a los mapas del estadístico G_i^* , lo cual facilitó su interpretación. Las tonalidades verdes representan una correlación local positiva, las tonalidades rojas una correlación local negativa, mientras que las tonalidades amarillas y naranjas son correlaciones próximas a cero.

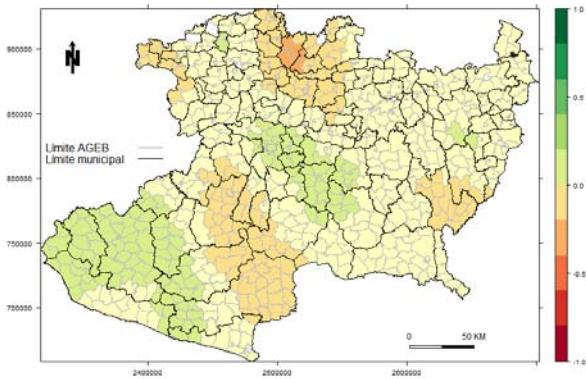
Correlación: Tasa de deforestación (2004-2014) y % de población de 15 años y más analfabetas



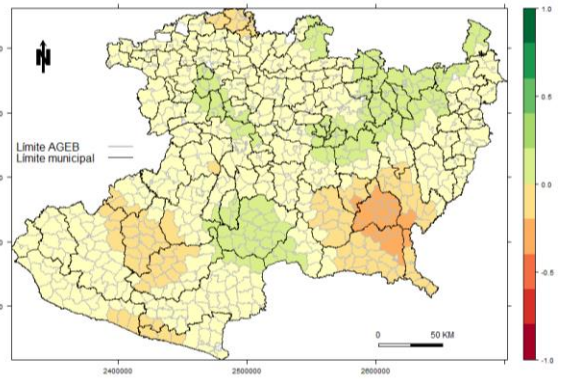
Correlación: Tasa de deforestación (2004-2014) y % de población femenina ocupada



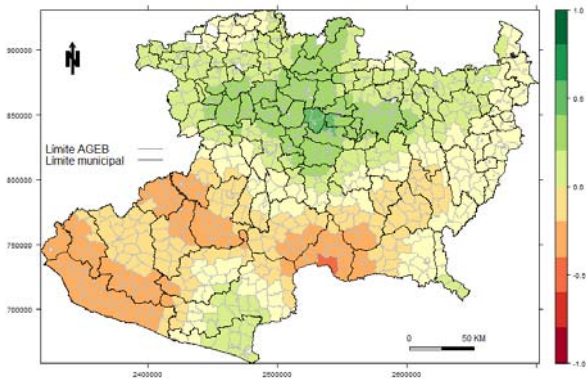
Correlación: Tasa de deforestación (2004-2014) y % de población ocupada



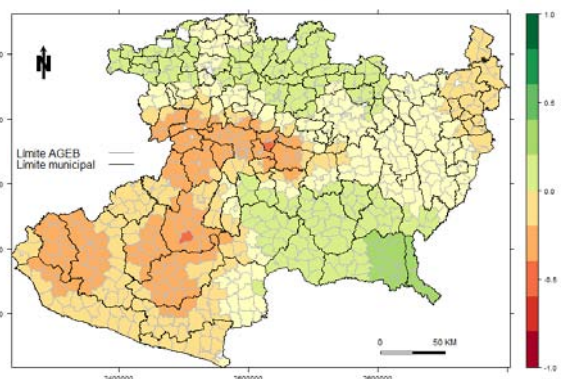
Correlación: Tasa de deforestación (2004-2014) y índice de masculinidad



Correlación: Tasa de deforestación (2004-2014) y mediana de la distancia asentamientos humanos urbanos



Correlación: Tasa de deforestación (2004-2014) y mediana de la elevación



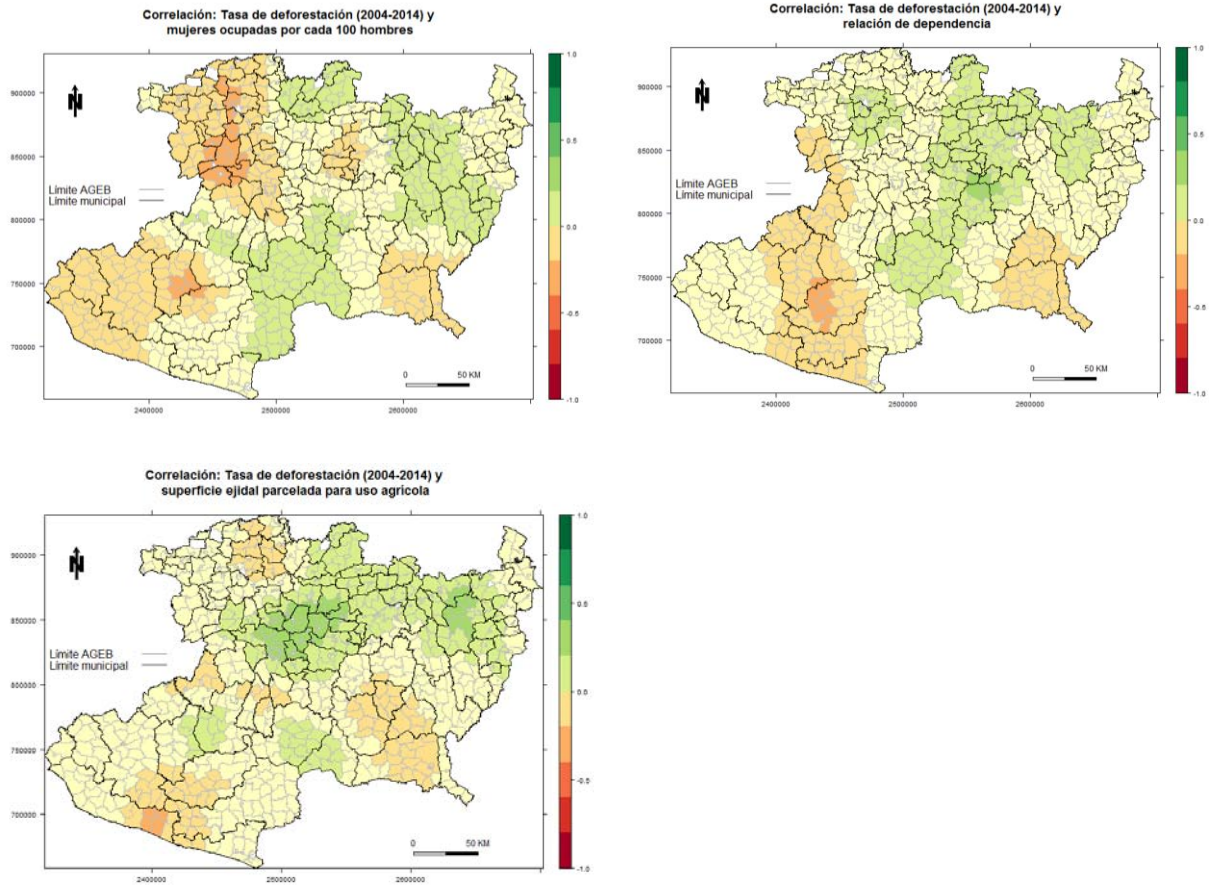


Figura 9. Muestra los coeficientes de correlación local de Spearman entre las distintas variables independientes con la tasa de deforestación, durante el periodo 2004-2014.

Tabla 8. Resume el comportamiento de los indicadores de multicolinealidad VIF y VDP, para cada variable en el modelo.

	V3		AHUDISTA		V4		EJIDOSZP		V1		V13	
	VIF	VDP	VIF	VDP	VIF	VDP	VIF	VDP	VIF	VDP	VIF	VDP
Mínimo	1.18	0.00	1.05	0.00	1.01	0.00	1.00	0.00	1.20	0.00	1.02	0.00
Q1	1.80	0.03	1.09	0.05	1.05	0.00	1.03	0.01	1.93	0.05	1.07	0.03
Mediana	2.15	0.16	1.13	0.12	1.06	0.00	1.05	0.05	2.20	0.11	1.10	0.13
Media	2.51	0.41	1.14	0.24	1.11	0.01	1.06	0.11	2.53	0.36	1.11	0.12
Q3	3.31	0.93	1.17	0.43	1.12	0.01	1.08	0.15	3.31	0.82	1.13	0.18
Máximo	5.07	0.97	1.38	0.67	1.67	0.18	1.97	0.77	5.01	0.93	1.29	0.36

Para finalizar la selección del conjunto de variables independientes, se utilizó el diagrama que aparece en la figura 10. El centro representa la variable dependiente (DND, la cual representa *Deforestado y No Deforestado*) de y una a una se introdujeron las variables independientes en el modelo GWR. Esto es equivalente a aplicar un enfoque paso a paso, con la ventaja de que ya no es necesario probar todos los modelos posibles, ya que previamente se descartaron variables. Una forma alternativa de analizar el diagrama anterior, se encuentra en la figura 11, sobre la cual se graficó el número de modelo y su AIC correspondiente.

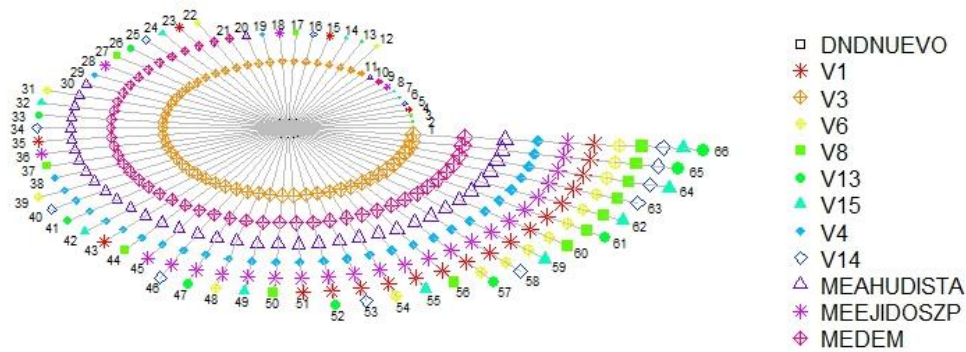


Figura 10. Visión de los modelos resultantes tras aplicar un enfoque paso a paso.

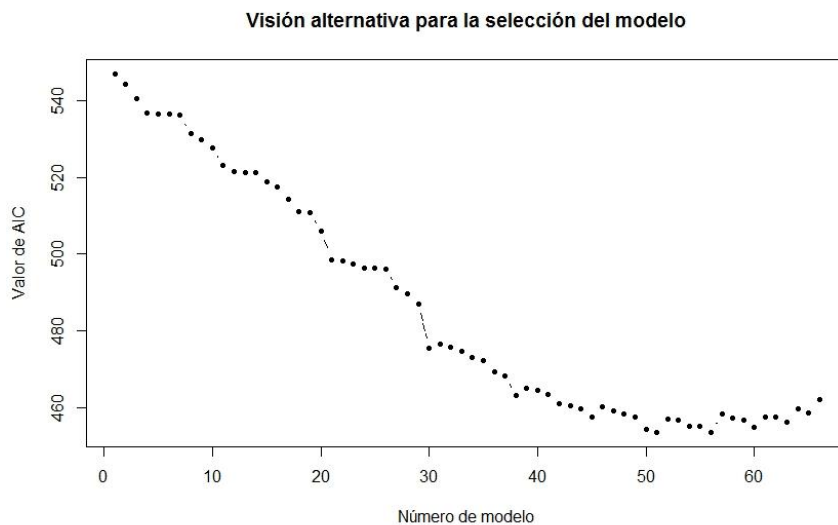


Figura 11. Visión alternativa del enfoque paso a paso para seleccionar el modelo con el mínimo de AIC.

El GWLR que se utilizó fue el modelo número 54 de las figuras 10 y 11, cuyo valor de AIC fue el más bajo. Para estimar los coeficientes de regresión local se utilizó un BW de 164, al ser el que mejor se ajustó a los datos. Al ser el modelo número 54 el que presentó un valor de AIC más bajo, se descartaron cinco de las once variables y se seleccionaron las siguientes: el índice de masculinidad (V3), la mediana de la distancia a los asentamientos urbanos humanos (AHUDISTA), el porcentaje de población de 5 años y más residentes en otra entidad en junio de 2005 (V4), la superficie ejidal total parcelada para uso agrícola (EJIDOSZP), la relación de dependencia (V1) y el porcentaje de población ocupada (V13). Con la prueba de Monte Carlo se identificaron agrupaciones estadísticamente significativas, para las seis variables seleccionadas en la GWLR.

En las figuras 12 a 17, se encuentran los mapas con la distribución espacial de los coeficientes de regresión y sus respectivos niveles de significancia estadística. La interpretación de los mapas es similar a trabajar con una regresión logística tradicional, la cual supone que el comportamiento de una variable es constante sobre el espacio. La ventaja de trabajar la GWLR, es que permitió estimar un modelo para cada observación (AGEB), de esta forma es posible observar si existen agrupaciones espaciales donde, una variable contribuye o no con el proceso de deforestación. Si el signo del parámetro es positivo, significa que conforme la variable independiente aumenta, la probabilidad de que exista deforestación en un AGEB también aumenta. Sin embargo cuando el signo es negativo, significa que conforme la variable independiente disminuye, la probabilidad de que el AGEB se deforeste también disminuye. Una de las aportaciones más importantes en la GWLR fue la significancia estadística, con ella se identificaron los AGEB donde podemos esperar que el efecto de las variables independientes no provenga del azar. En las figuras 12 a 17 (b) se identificaron regiones donde una misma variable contribuye con el proceso de deforestación y en otras, su efecto es contrario. En todos los casos, excepto la figura 13, el comportamiento de los coeficientes y su significancia estadística se explica por razones

similares. Para el caso de las figuras 12, 14, 15 16 y 17, la significancia estadística positiva y negativa corresponden con los valores más altos y bajos de cada indicador utilizado, respectivamente.

En la figura 13 b los valores de significancia estadística positivos, corresponden con la cercanía a los asentamientos humanos urbanos. El grupo de AGEB azules al noreste del estado, se encuentran próximos a ciudades como Morelia (el asentamiento humano más poblado en el estado), Ciudad Hidalgo, Pátzcuaro, Santa Clara del Cobre, Taretan, entre otros. Donde los valores de significancia estadística son negativos, la cantidad de asentamientos humanos urbanos es menor lo que implica se incremente la distancia. La significancia negativa corresponde con dos regiones: Huetamo de Núñez al sur y Aguililla al oeste. Ambas regiones son favorecidas por climas cálidos con mayor presencia de selvas, aunque en el municipio de Aguililla también hay presencia de bosque templado sobre la parte más alta. Particularmente el municipio de Aguililla corresponde con un foco de deforestación, el cual tiene pocos asentamientos humanos urbanos pero además se encuentra bajo el Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Michoacán 2030 (PRODEFOS 2030).

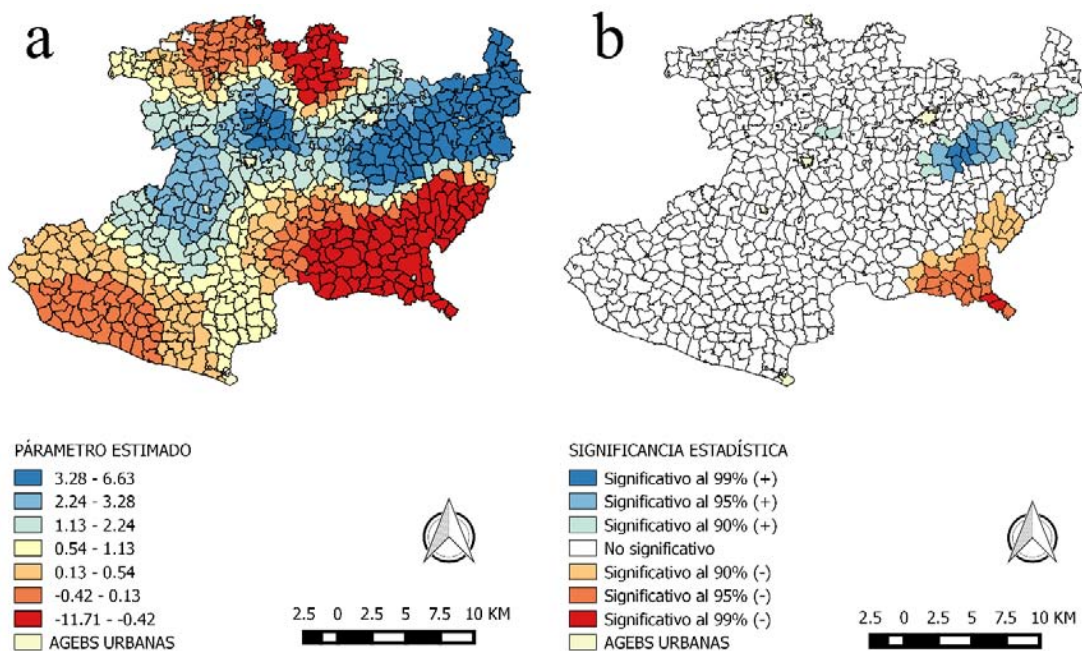


Figura 12. Distribución espacial del coeficiente estimado para el índice de masculinidad (a) y su significancia estadística (b).

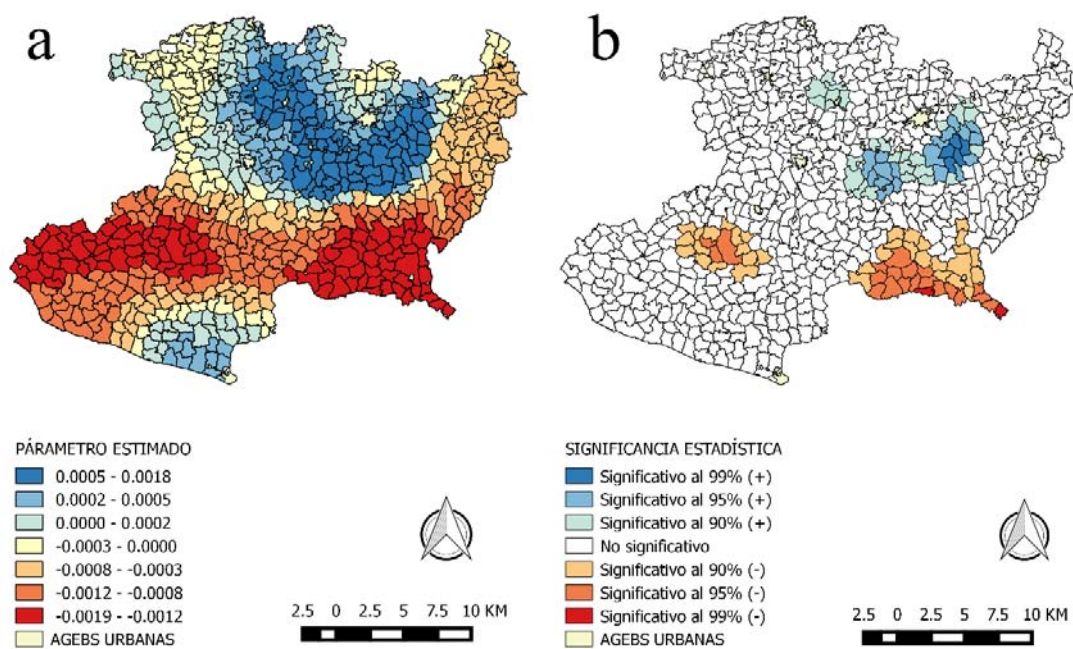


Figura 13. Distribución espacial del coeficiente estimado para la mediana de la distancia a los asentamientos humanos (a) y su significancia estadística (b).

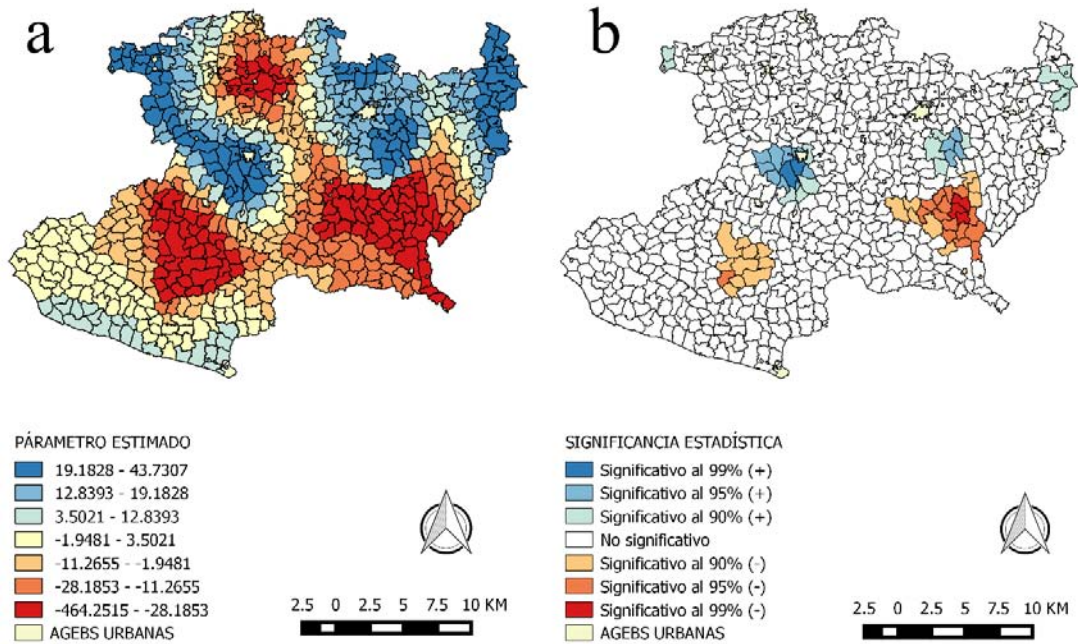


Figura 14. Distribución espacial del coeficiente estimado para el porcentaje de población de 5 años y más residentes en otra entidad en junio de 2005 (a) y su significancia estadística (b).

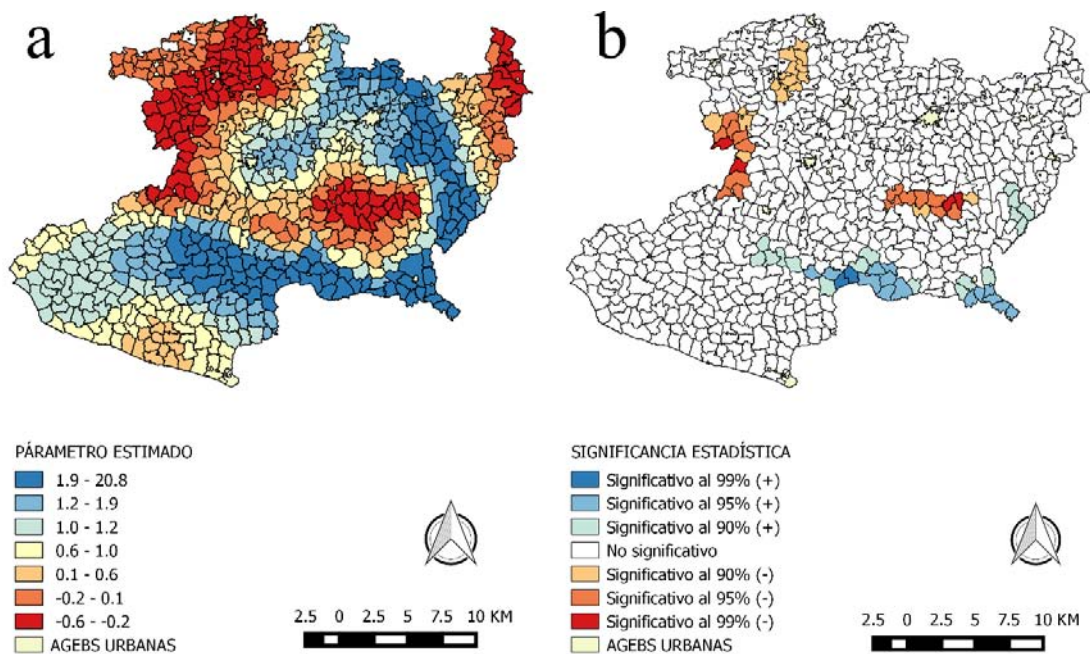


Figura 15. Distribución espacial del coeficiente estimado para la superficie ejidal total parcelada para uso agrícola (a) y su significancia estadística (b).

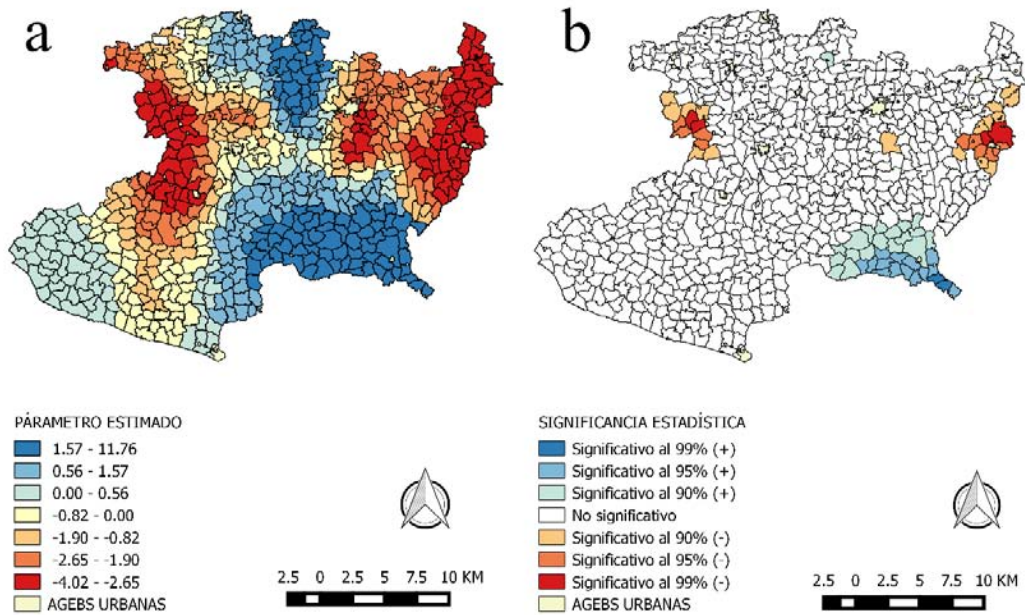


Figura 16. Distribución espacial del coeficiente estimado para la relación de dependencia (a) y su significancia estadística (b).

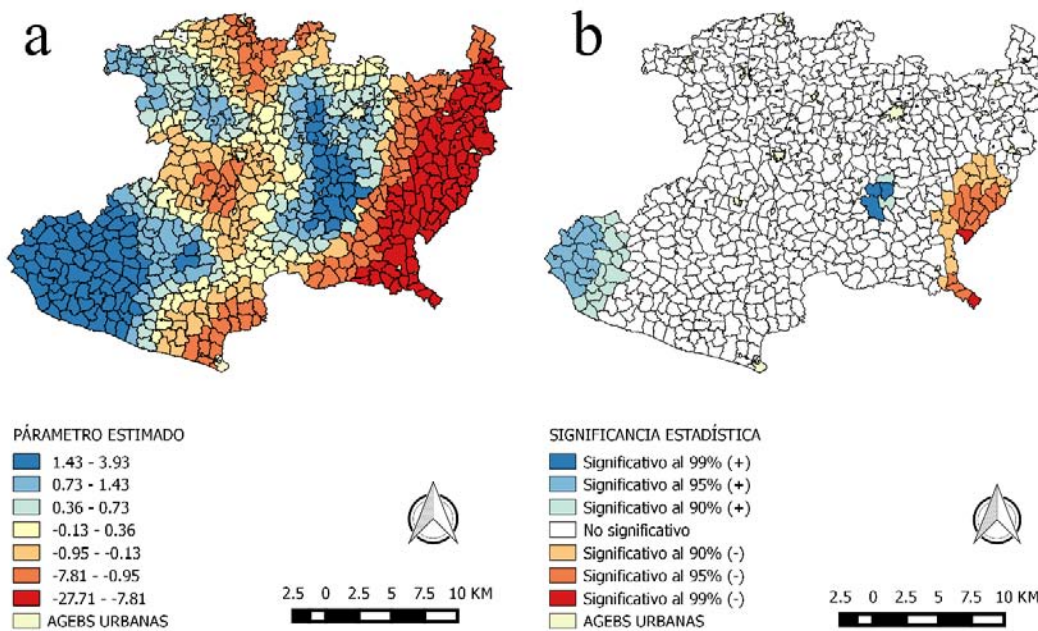


Figura 17. Distribución espacial del coeficiente estimado para el porcentaje de población ocupada (a) y su significancia estadística (b).

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con el uso de distintas técnicas de análisis espacial, se pudieron estimar las tasas de cambio en el estado de Michoacán, con las cuales se identificaron algunos focos de deforestación. Esta información se utilizó en una GWR, para tratar de entender el proceso de deforestación y las relaciones espaciales que tiene con distintas variables. Particularmente sobre las GWR existen importantes ventajas y limitantes que vale la pena reconocer, ya que dicha técnica, utiliza datos espaciales, que generalmente no cumplen con los criterios estadísticos tradicionales. Sin embargo, en el caso de este trabajo, las GWR permitieron comprobar estadísticamente el efecto de al menos seis variables (índice de masculinidad, distancia a los asentamientos humanos, porcentaje de población de 5 años y más residente en otra entidad en junio de 2005, superficie ejidal parcelada para uso agrícola, la relación de dependencia y el porcentaje de población ocupada) sobre el proceso de deforestación. Con ello se comprobó que las distintas relaciones espaciales varían básicamente por las siguientes razones: las variaciones aleatorias obtenidas en el conjunto de datos que se analiza; la forma en que se expresa la toma de decisiones sobre el territorio, la cual en muchos de los casos obedece a razones políticas, administrativas o culturales; cuando se trabaja con métodos meramente estadísticos, se llegan a omitir variables con la finalidad de cumplir con los criterios necesarios, lo cual puede ser funcional pero incorrecto (Charlton et al., 2006).

Cuando las variaciones son aleatorias, es necesario considerar la fuente y escala de obtención de los datos, ya que son un factor determinante en el comportamiento de los resultados. Cuando se trabaja en distintos niveles de agregación espacial, los resultados en una GWR pueden ser muy contrastantes. Esto se debe tomar en cuenta, cuando se pretenden hacer recomendaciones a zonas específicas sobre un proceso en particular. La expresión de la toma de decisiones sobre el espacio, responde a criterios del comportamiento humano más que a criterios estadísticos. Por esta razón, es difícil establecer una relación directa y significativa sobre los conductores de la

deforestación. El análisis espacial y las técnicas estadísticas utilizadas, fueron de gran utilidad para explorar el proceso de deforestación sobre el estado de Michoacán. Con la estimación de estadísticas locales mediante una GWR, se identificaron asociaciones significativas sobre el comportamiento espacial entre el proceso de deforestación y los conductores del cambio. Las estadísticas locales suponen una gran ventaja, ya que pretenden evitar caer en errores de inferencia, que ocultan la naturaleza de los procesos analizados. La GWR es una herramienta exploratoria, que permitió plantear hipótesis sobre las relaciones espaciales que existen entre la deforestación y las distintas variables explicativas. Sin embargo, recomendamos cuando sea posible, combinar escalas de mayor detalle que permitan comprobar las hipótesis planteadas.

6. FACTORES QUE PROMUEVEN LA DEFORESTACIÓN: EL CASO DE TARETAN, MICHOACÁN.

6.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se plantea una perspectiva para conocer las causas que motivan el proceso de deforestación en el municipio Taretan, Michoacán. A diferencia del capítulo anterior, la escala de análisis permitió incorporar elementos teóricos como la gobernanza en la toma de decisiones y sus implicaciones sobre la configuración del paisaje. Cuando existen bajas o nulas condiciones de gobernanza, los efectos ambientales y socioeconómicos son importantes. Por otro lado, la autonomía sobre la toma de decisiones y una relación activa con los sistemas políticos, favorece la capacidad de organización y el desarrollo local. Pese a las múltiples definiciones de gobernanza forestal, se describe según Bodegom et al. (2008) como: “el *modus operandi* por el cual funcionarios e instituciones adquieren y ejercen autoridad en el manejo de los recursos forestales. La buena gobernanza se caracteriza por una elaboración de políticas previsibles, abiertas e

informadas, basada en procesos transparentes; una burocracia con ética profesional; un brazo ejecutivo del gobierno responsable de sus acciones, y una fuerte sociedad civil que participa en la toma de las decisiones relacionadas con el sector”.

Previamente se identificaron en el municipio de Taretan algunos focos de deforestación, razón por la cual se optó por analizarlo a profundidad para conocer cuáles son los conductores del cambio. Cabe mencionar que es un municipio de fácil acceso, no solo por la disponibilidad de caminos, sino por la apertura de las personas para compartir información, lo cual permitió documentar la investigación y añadir algunos elementos que fortalecen el caso de estudio. Este enfoque metodológico combina el análisis cuantitativo y cualitativo, basado principalmente en: la literatura respecto a los conductores de deforestación, el aporte del modelo de regresión elaborado con anterioridad, además de otras fuentes estadísticas y con mayor certeza, la información recabada en campo.

El municipio de Taretan es uno de los 113 municipios del estado de Michoacán, colinda al norte con Uruapan, Ziracuaretiro y Salvador Escalante, al sur con los municipios de Ario, Nuevo Urecho y Uruapan, al este con Salvador Escalante y Ario y al oeste con el municipio de Uruapan (figura 18). Se encuentra sobre el Eje Volcánico Transversal, con temperaturas que oscilan entre los 18 y 26 °C y un rango de precipitación anual entre los 800 y 1500 mm. Los climas que dominan son: cálido subhúmedo con lluvias en verano, cálido subhúmedo con lluvias en verano y semicálido subhúmedo con lluvias en verano. La interacción de todos los elementos biofísicos, permite la proliferación de actividades agrícolas, principalmente cultivos tropicales como: la caña de azúcar, el mango y la guayaba. En la parte norte del municipio las condiciones climáticas son ligeramente más frías, lo que permite la presencia de bosques de pino, aunque recientemente se han establecido cultivos con miras al mercado internacional como el aguacate y la zarzamora. Si bien, los cultivos

de exportación tienen preferencia sobre los cultivos básicos, no son los que predominan pero si son una fuente importante del desarrollo económico de la región. Existen algunas otras actividades económicas como la producción ganadera y la comercialización.

Taretan es un municipio con mucha historia, de hecho los registros más antiguos datan del siglo XVI con la llegada de los frailes agustinos, quienes iniciaron la fundación de varias haciendas y trapiches, para la producción, transformación y distribución de los derivados de la caña de azúcar. Este sistema de haciendas organizó la producción en el municipio, durante al menos 400 años, hasta el reparto agrario del siglo XX (Salmerón, 1984).

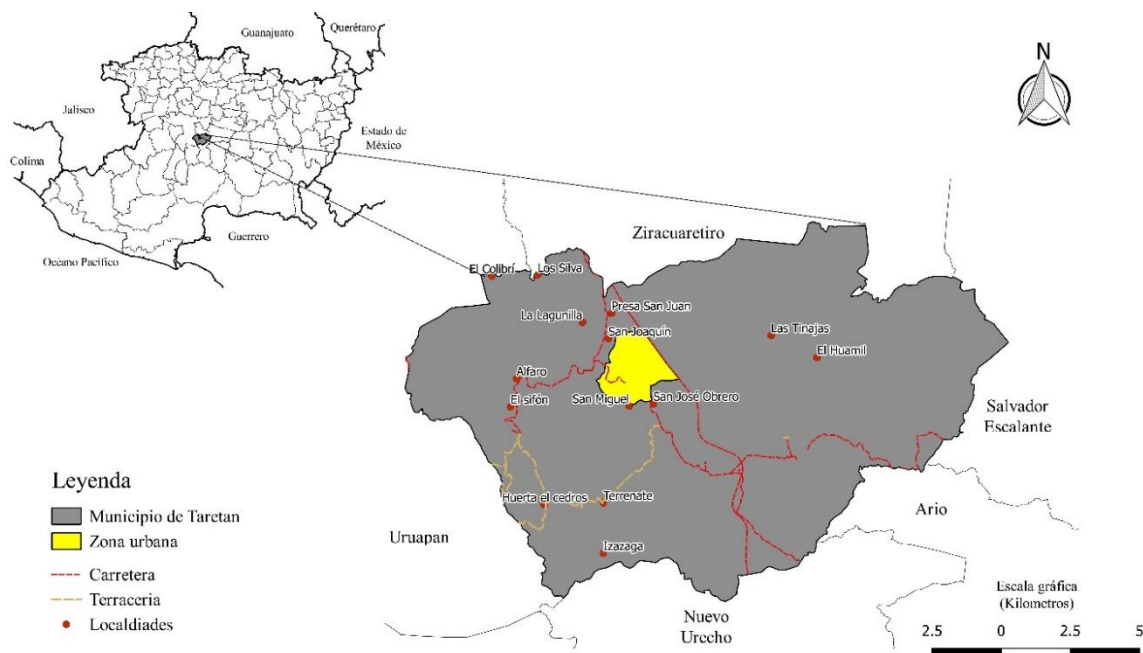


Figura 18. Localización del municipio de Taretan, en el estado de Michoacán.

6.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso para conocer los factores que promueven la deforestación en el municipio de Taretan, consistió básicamente de tres etapas. La primera fue utilizar los mapas de CUS elaborados por Mas et al. (2015) para estimar las áreas deforestadas durante los periodos 2004-2007 y 2007-2014. Se seleccionaron el conjunto de variables con mayor relevancia y que cumplen con los criterios estadísticos, para poder establecer una relación con el proceso de deforestación. Se estimaron mapas de correlación local de Spearman para cada AGEB en el estado de Michoacán, mismos que fueron utilizados en la descripción del caso de estudio. Con los mapas de correlación local de Spearman del capítulo anterior (ver figura 9), se plantearon algunas hipótesis sobre la relación entre los distintos conductores de cambio y el proceso de deforestación. Estas hipótesis consintieron en establecer una relación positiva o negativa entre la deforestación y los distintos indicadores del cambio.

La segunda fase consistió de recorridos en campo y entrevistas abiertas a distintos actores claves como: presidentes de las asociaciones cañeras, representantes del departamento de ecología del municipio, productores de guayaba, zarzamora, y ganado, jefes del Centro de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER) de SAGARPA, además de acudir a una asamblea ejidal y entrevistar de forma personal algunos jornaleros agrícolas. Esto permitió darle mayor coherencia a las hipótesis planteadas en los mapas de correlación. En una tercera fase, se consultaron estadísticas de la producción agrícola por año, procedentes del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), de la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (Tabla 9). Con toda esta información se estableció un panorama general sobre la situación actual de los recursos forestales en el municipio.

6.3. RESULTADOS

El escenario más reciente, señala que en el periodo 2004-2007 la superficie forestal en el municipio de Taretan pasó de 9,482 a 8,799 ha, esto equivale a una tasa de deforestación anual de 227.6 ha. En el periodo 2007-2014, la tasa de deforestación anual se redujo a 29.2 ha al año, ya que la superficie forestal pasó de 8,799 a 8,594 ha. Gran parte de los cambios en la cubierta forestal se registraron en la zona que colindan con el municipio de Uruapan, al noroeste de Taretan (figura 19). En los mapas de correlación local de Spearman, se observó un patrón constante sobre los municipios de: Taretan, Salvador Escalante, Tingambato, Uruapan y Ziracuaretiro. Esto indica una correlación positiva entre la tasa de deforestación y al menos seis variables conductoras del proceso de deforestación (índice de masculinidad, mediana de la distancia a los asentamientos urbanos humanos, porcentaje de población de 5 años y más residentes en otra entidad en junio de 2005, superficie ejidal total parcelada para uso agrícola, relación de dependencia y porcentaje de población ocupada). Esto significa que conforme la tasa de deforestación aumenta, la variable independiente también lo hace.

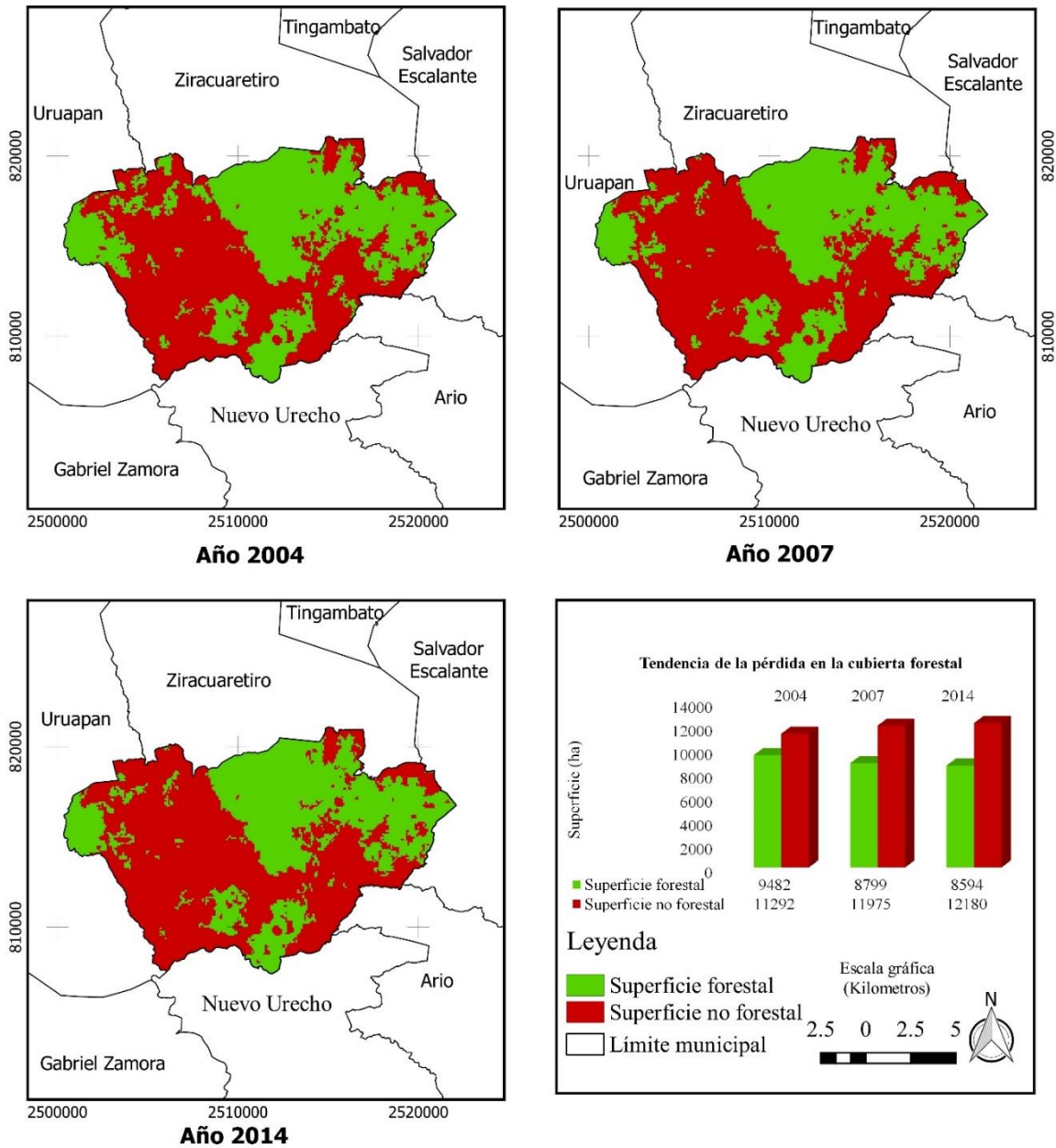


Figura (19). Muestra la distribución espacial y la tendencia en la pérdida de la cubierta forestal durante los años 2004, 2007 y 2014, en el municipio de Taretan.

En el capítulo anterior, se identificaron algunas variables que estadísticamente tienen mayor relación con el proceso de deforestación. Fue difícil establecer una relación basada únicamente en los datos, debido a que mucha de la información que a continuación se describe, no se reflejó durante el análisis estadístico, sino más bien durante el trabajo de campo. En este sentido, se

identificaron las causas próximas y subyacentes que reflejan la situación de los bosques en el municipio de Taretan, las cuales están relacionadas ampliamente con: procesos económicos y sociales, la expansión agrícola, la tenencia de la tierra y el impacto de algunos instrumentos gubernamentales.

Efectivamente los cultivos con miras de exportación se han incrementado, particularmente la producción de guayaba. Esta situación, ha favorecido la creación de pequeñas empresas como el caso de *Las Peñas* (productora durante al menos 25 años). Este tipo de cultivos son beneficiados por apoyos del gobierno para aumentar su producción, en este caso, el apoyo se ha orientado a la infraestructura (principalmente maquinaria). Los efectos en la producción de guayaba, se reflejan en el incremento del poder adquisitivo de algunos trabajadores en el municipio de Taretan, a partir de algunas dinámicas económicas importantes, que han permitido mejorar algunos aspectos de la vida cotidiana de los pobladores de Taretan, como el hecho de utilizar materiales más resistentes (figura 20) para la construcción de las viviendas. Por otra parte, el cultivo de caña ha tenido un impacto sobre los bosques que históricamente, ha sido un factor importante sobre la configuración del paisaje y las dinámicas sociales que ocurren en el municipio. El proceso del cultivo de caña es catalogado como rudimentario, razón por la cual demanda mayormente mano de obra masculina. En este sentido, el análisis estadístico mostró una correlación positiva entre la tasa de deforestación y el índice de masculinidad (figura 21), lo cual tiene que ver con la presencia del hombre en el campo y en varias ocasiones, coincide con la contratación de mano de obra masculina procedente de otras regiones del país. Existen actividades como la producción de madera y resina que no se reflejaron en los datos, sin embargo con el trabajo de campo, se pudo constatar que han tenido un impacto en pro de la conservación de los bosques. Lo cual se explica principalmente, por la dependencia económica que genera el uso de los recursos forestales.



(a)



(b)

Figura 20. En las imágenes de arriba, se puede observar como los materiales de construcción de la vivienda eran mayormente de madera (a) y con la proliferación de los cultivos de guayaba y zarzamora, el poder adquisitivo de los habitantes aumentó, lo cual les permitió construir una nueva vivienda con materiales más resistentes (a y b).

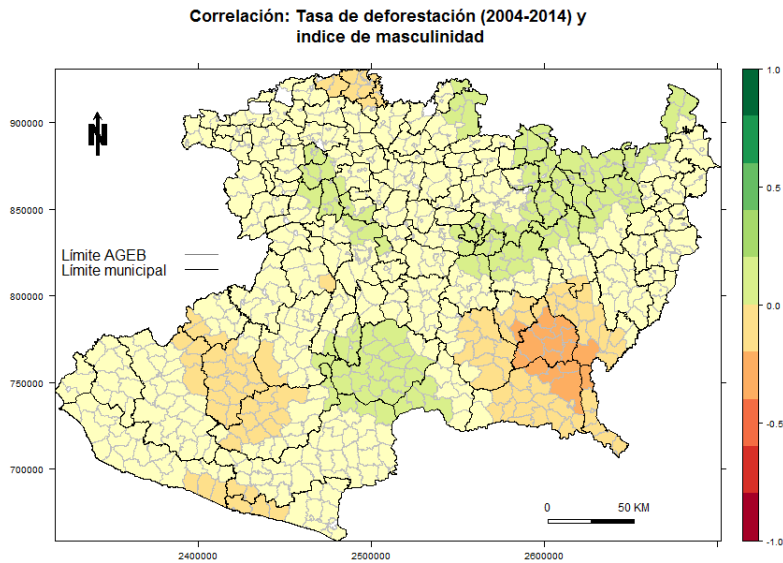


Figura 21. Distribución espacial del coeficiente de correlación de Spearman entre la tasa de deforestación durante el periodo 2004-2014 y el índice de masculinidad.

El porcentaje de población de 5 años y más residentes en otra entidad en junio de 2005, fue considerado como un indicador de migración, el cual tuvo una correlación positiva con la tasa de deforestación (figura 22). La explicación que encontramos en campo, se debe a que el municipio de Taretan importa mano de obra, procedente de los estados de los estados de Chiapas y Guerrero, la cual es ocupada para la cosecha del cultivo de caña. Sin embargo, la dinámica migratoria es más compleja, ya que en ocasiones son familias enteras las que emigran al municipio y permanecen por tiempo indefinido (figura 23). En algunos casos, las mujeres madres de familia también se incorporan al mercado laboral, solo que en este caso no es para el cultivo de caña, sino para la cosecha de zarzamora.

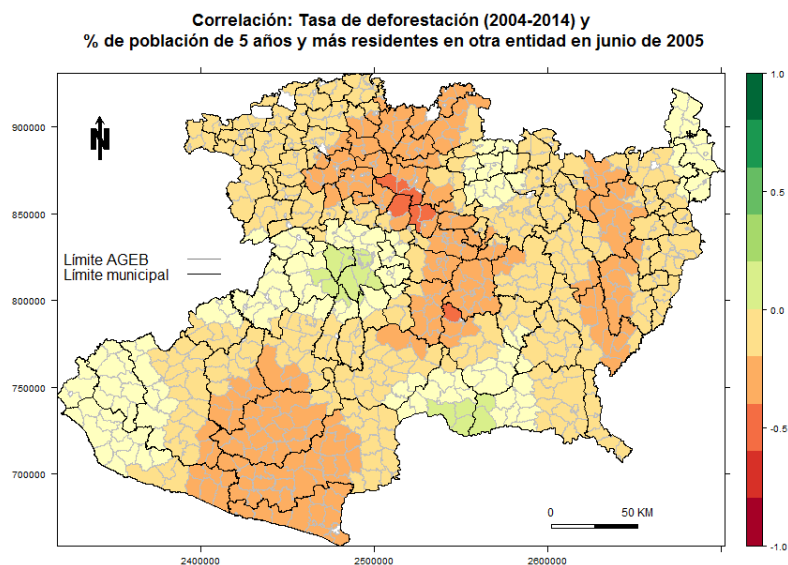


Figura 22. Distribución espacial del coeficiente de correlación de Spearman entre la tasa de deforestación durante el periodo 2004-2014 y el porcentaje de población de 5 años y más residentes en otra entidad en junio del 2005.



(a)



(b)

Figura 23. En la imagen de la izquierda (a) podemos observar a un jornalero agrícola en la cosecha de caña, quien señala ser procedente del estado de Chiapas y estar en el municipio de Taretan en busca de oportunidades de trabajo. En la imagen de la derecha (b) se puede observar uno de los albergues que alojan a los jornaleros agrícolas y sus familias.

La correlación positiva con el porcentaje de población femenina ocupada (figura 24) tiene que ver con la incorporación de la mujer al mercado laboral. Los pobladores estiman que fue hace aproximadamente entre 10 y 15 años, que empezó a ser contratada para la cosecha del cultivo de zarzamora. Esto coincide con las cifras del SIAP, ya que según el registro más antiguo con el que contamos, el cultivo de guayaba inició en el año 2003 y el cultivo de zarzamora en 2005 (tabla 9). Para el municipio de Taretan, el cultivo de zarzamora es el más rentable, ya que es un cultivo de exportación, que se favorece por una gran cantidad de programas gubernamentales de apoyo al campo (identificamos al menos tres apoyos diferentes por parte de financiera rural: para fertilizantes, maquinaria e infraestructura).

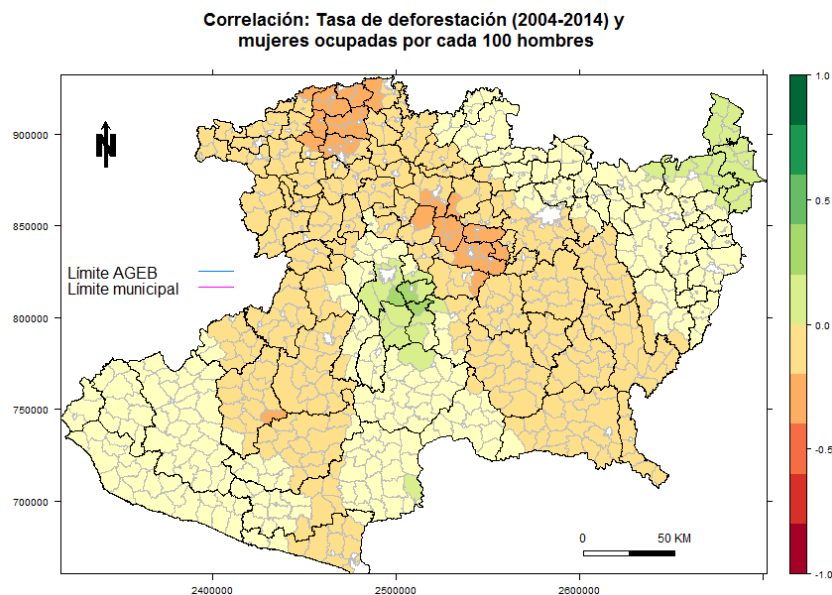


Figura 24. Distribución espacial del coeficiente de correlación de Spearman entre la tasa de deforestación durante el periodo 2004-2014 y el porcentaje de mujeres ocupadas por cada cien hombres.

En la tabla 9 se puede observar que la superficie del cultivo de aguacate y guayaba se ha incrementado, a la vez que el cultivo de zarzamora comienza a aparecer y el cultivo de caña se reduce, mientras que el cultivo de maíz presenta ligeras variaciones a lo largo del tiempo. Particularmente el cultivo de zarzamora requiere de mayor inversión, ya que aunque es el cultivo más redituable, también es delicado y debe estar vigilado todo el año, para asegurar su producción. Pese a que los cultivos de guayaba y zarzamora no predominan (tabla 9), han desplazado el cultivo de caña, que a su vez tiende a promover el desmonte de áreas marginales de selva baja.

Tabla 9. Estadísticas de la producción Agrícola en el municipio de Taretan, Michoacán durante el periodo 2003-2013.

CULTIVO		AÑO										TOTAL	
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012		2013
AGUACATE	SSE	203	208	337	337	545	545	1090	652	700	735	862	6214
	SC	148	203	203	203	400	545	596	515	700	735	862	5110
	SS	55	5	134	134	145	0	494	137	0	0	0	1104
	V	7.252	9.632	9.072	12.180	18.000	56.898	61.220	27.170	102.250	106.811	115.556	526.041
CAÑA DE AZUCAR	SSE	2180	2317	2160	2125	2108	2119	2119	1558	1598.85	1558	1902.25	21745.1
	SC	2173	2317	2102	2108	2108	2119	2119	1549.82	1595.5	1558	1902.25	21651.57
	SS	7	0	58	17	0	0	0	8.18	3.35	0	0	93.53
	V	58.200	66.903	74.689	62.170	56.663	71.368	44.499	88.394	90.504	85.872	104.754	804.018
CAÑA DE AZUCAR SEMILLA	SSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.74	42.74
	SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.74	42.74
	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.299	2.299
DURAZNO	SSE	7	7	10	10	10	10	30	12	12	12	12	132
	SC	0	0	7	7	10	10	30	11.5	12	12	12	111.5
	SS	7	7	3	3	0	0	0	0.5	0	0	0	20.5
	V	0.000	0.000	0.140	0.140	0.720	0.600	0.775	0.518	0.612	0.709	0.713	4.926
FRIJOL	SSE	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
	SC	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	V	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016
FRUTALES VARIOS	SSE	62	52	32	32	32	117	234	117	0	0	0	678
	SC	62	52	32	32	32	117	224	110	0	0	0	661
	SS	0	0	0	0	0	0	10	7	0	0	0	17
	V	1.550	0.811	0.800	0.800	0.832	0.866	3.267	1.980	0.000	0.000	0.000	10.906
GUANABANA	SSE	6	6	6	6	6	11	22	11	11	11	10	106
	SC	6	6	6	6	6	11	14.5	9	11	11	10	96.5
	SS	0	0	0	0	0	0	7.5	2	0	0	0	9.5
	V	0.012	0.012	0.018	0.048	0.120	0.229	0.095	0.198	0.167	0.147	0.178	1.224
GUAYABA	SSE	41	167	393	441	443	526	496	496	496	510	550	4559
	SC	33	41	167	393	421	526	390	485	496	510	528	3990
	SS	8	126	226	48	22	0	106	11	0	0	22	569
	V	0.413	0.615	2.145	13.755	10.315	9.468	13.650	20.370	28.173	39.405	39.223	177.531
LITCHI	SSE	8	8	18	18	18	18	36	18	18	18	15	193
	SC	0	0	0	0	0	0	31	17	18	18	15	99
	SS	8	8	18	18	18	18	5	1	0	0	0	94
	V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.138	1.726	1.584	0.903	0.860	7.210
MAIZ GRANO	SSE	1387	1281	1373	1238.11	1400	1411	1530	1520	1520	1520	1618	15798.11
	SC	1387	1281	1373	1238.11	1400	1411	1230	1470	1520	1520	1618	15448.11
	SS	0	0	0	0	0	0	300	50	0	0	0	350
	V	4.495	2.905	3.462	5.585	6.048	7.894	3.156	7.948	7.604	8.885	12.608	70.589
MAMEY	SSE	0	9	9	9	9	12	12	12	12	12	11	107
	SC	0	0	0	0	0	0	12	10	12	12	11	57
	SS	0	9	9	9	9	12	0	2	0	0	0	50
	V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.672	0.455	0.480	0.383	0.400	2.390
MANDARINA	SSE	1	1	4	4	4	4	8	0	0	0	0	26
	SC	0	0	1	1	1	4	0	0	0	0	0	7
	SS	1	1	3	3	3	0	8	0	0	0	0	19
	V	0.000	0.000	0.012	0.012	0.018	0.096	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.138
MANGO	SSE	576	576	500	500	475	267	475	267	267	267	270	4440
	SC	470	576	500	500	475	267	475	267	267	267	270	4334
	SS	106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106
	V	2.386	2.742	3.000	4.800	2.613	3.471	4.275	5.097	4.790	7.420	7.595	48.188
NANCHE	SSE	14	14	8	8	8	8	16	16	16	16	14	138
	SC	14	14	8	8	8	8	15	13	16	16	14	134
	SS	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	4
	V	0.224	0.224	0.160	0.160	0.160	0.128	0.195	0.151	0.232	0.136	0.130	1.899
NARANJA	SSE	6	6	6	6	6	10	20	0	0	0	0	60
	SC	6	6	6	4	6	10	15	0	0	0	0	53
	SS	0	0	0	2	0	0	5	0	0	0	0	7
	V	0.072	0.060	0.045	0.040	0.041	0.090	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.437
NOPALITOS	SSE	12	12	12	19	38	19	19	19	21	0	0	171
	SC	12	12	12	19	28	17	19	19	21	0	0	159
	SS	0	0	0	0	10	2	0	0	0	0	0	12
	V	0.168	0.168	0.288	0.475	0.873	1.275	1.663	1.498	1.887	0.000	0.000	8.294
PASTOS Y PRADERAS EN VERDE	SSE	1634	1634	1450	1450	1470	1508	1505	1478	1478	1478	1475	16560
	SC	1634	1634	1400	1450	1470	1508	1495	1275	1478	1478	1475	16297
	SS	0	0	50	0	0	0	10	203	0	0	0	263
	V	2.860	2.451	1.960	2.925	6.548	4.058	1.866	3.624	4.784	6.856	8.342	46.272
PLATANO	SSE	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	SC	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	V	0.048	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.096
ZARZAMORA	SSE	0	0	20	20	20	33	33	53	53	53	71	356
	SC	0	0	20	20	20	33	33	53	53	53	71	356
	SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	V	0.000	0.000	1.440	1.680	1.300	2.376	2.640	6.307	10.335	10.480	13.488	50.046

SSE: Superficie sembrada (ha); SC: Superficie cosechada (ha); SS: Superficie siniestrada (ha); V:

Valor de producción (millones de pesos). Fuente: SIAP-SAGARPA.

A través de los recorridos de campo, se identificó una zona próxima al municipio de Uruapan con incendios forestales (figura 25). Los medios de comunicación local señalan que la superficie quemada fue de aproximadamente 100 ha. El incendio se registró en el mes de mayo del año 2016, por lo tanto no se registra en las cartografías de CUS que se utilizaron en este trabajo, difícilmente es posible darse cuenta de este tipo de evento cuando se hace trabajo únicamente de gabinete. Los pobladores del municipio especulan que el incendio fue provocado para promover un cambio del uso del suelo para el cultivo de aguacate. Señalan que es una zona que cumple con las características climáticas y edafológicas para producirlo, sin embargo debido el régimen de propiedad bajo el que se encuentra (uso común), no es fácil lograr una negociación entre los productores de aguacate y los dueños de la tierra.



Figura 25. La imagen de arriba muestra un panorama general sobre el efecto de uno de los incendios forestales del mes de mayo del año 2016, en el municipio de Taretan.

La tenencia de la tierra es un factor subyacente de la deforestación, la cual está relacionada con la forma en que los derechos de propiedad son asignados, ya que existen normas que permiten utilizar, controlar y transferir la tierra. Al menos en el municipio de Taretan, la forma en que se administra la tierra, favorece la deforestación. Por ejemplo, cuando la propiedad privada se vende a personas externas de la comunidad, estas la intervienen de forma indiscriminada para fines agrícolas (principalmente cultivo de aguacate), lo que favorece el desmonte de los bosques. Caso contrario ocurre cuando la propiedad es de uso común, ya que los pobladores tienen mayor control sobre lo que sucede y en la mayoría de los casos, buscan la conservación de los bosques.

En el municipio de Taretan, se han implementado políticas públicas que buscan impulsar el desarrollo económico mediante la aprobación de créditos y subsidios al campo, a la vez que favorecen la expansión de la frontera agrícola y ganadera. El ejemplo más claro es la Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (LDSCA, 2005), la cual “norma las actividades asociadas a la agricultura de contrato y a la integración sustentable de la caña de azúcar, de los procesos de la siembra, el cultivo, la cosecha, la industrialización y la comercialización de la caña de azúcar, sus productos, subproductos, coproductos y derivados”. La LDSCA acompaña al productor de caña en todo el proceso, para que tanto el productor como el jornalero se vean beneficiados y de esta forma, garantizar la producción de azúcar y satisfacer la demanda nacional. Particularmente el cultivo de caña azucarera es llamativo para los jornaleros, ya que les permite acceder a servicios de salud. Existen también políticas públicas de apoyo al campo, las cuales se implementan con subsidios a través de incentivos como: fertilizantes, insecticidas, productos orgánicos, acceso a tecnologías eficientes e investigación, así como apoyos para hidrocarburos.

En la tabla 10 se pueden observar los principales factores que promueven el proceso de deforestación en el municipio de Taretan. Estos se identificaron a lo largo de la investigación,

mediante los métodos anteriormente citados. Existe una interacción entre factores económicos, sociales y ambientales, que en algunas ocasiones son favorecidos por instrumentos gubernamentales. Específicamente se señalan las variables que favorecen el cambio sobre la cubierta forestal y los impactos directos o indirectos que esto genera.

Tabla 10. Factores que promueven la deforestación en el municipio de Tareatan.

FACTORES		VARIABLES	IMPACTOS
ECONOMICOS		Creación de pequeñas y medianas empresas Incremento de ingresos Desarrollo de infraestructura Accesibilidad	Generación de empleos Expropiación de los recursos Economía extractivista
		Dinámicas demográficas Incorporación de la mujer a la fuerza laboral (principalmente para el cultivo de zarzamora) Nivel educativo Población indígena Expansión de los asentamientos humanos Extracción de madera Arraigo	Retención de jóvenes y adultos Identidad social (sentido de pertenencia), expresión de las actitudes en el espacio Desintegración familiar Violencia y conflictos armados
INSTRUMENTOS GUBERNAMENTALES	POLITICAS PÚBLICAS	PROAGRO PROGRAN Diésel agropecuario PIMAF Fomento a la agricultura (modernización de maquinaria y equipo) Proyectos estratégicos Apoyo a invernaderos Sistemas de riego	Acceso a servicios de salud Norma las actividades agrícolas en todo el proceso del cultivo (como en el caso de LDSCA) Asistencia técnica Subsidios a través de incentivos (fertilizantes, insecticidas y productos orgánicos) Acceso a tecnologías eficientes (tractores y aspersores) Reconversión productiva Seguro agrícola Apoyo a pequeños productores (maíz y frijol principalmente)
	LEYES	Ley de Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (LDSCA)	Incremento en la productividad agrícola y pecuaria Desarrollo tecnológico Investigación Incremento en el uso de hidrocarburos Favorecen la extracción de los recursos naturales
AMBIENTALES		Precipitación Temperatura Elevación Edafología Recursos hídricos	Condiciones climáticas adecuadas para la siembra de algunos cultivos Degradación de suelos Desabasto y deterioro de los recursos hídricos Extracción de recursos naturales

	Incendios forestales	Incremento de la contaminación por el uso de fertilizantes e hidrocarburos Expansión de los usos agrícolas a costa de los bosques y selvas Degradación de la cubierta forestal
--	----------------------	--

6.4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La deforestación en el municipio de Taretan ha sido provocada por la interacción de un gran número de factores, entre los que destacan: la expansión de la frontera agrícola, los incendios forestales, la expansión de los cultivos. Este proceso ha desencadenado nuevas dinámicas sociales como: la inmigración de población principalmente indígena, proveniente de otros estados en busca de mejores oportunidades de trabajo, la incorporación de la mujer al mercado laboral, el desarrollo de pequeñas y medianas empresas (como el caso de la empresa de guayabas *Las Peñas*). El crecimiento poblacional ha obligado a expandir la frontera agrícola, a la vez que polariza la sociedad en procesos poco incluyentes de producción. En muchos de los casos produce el que más tiene, pero no siempre es para uso local, sino para insertarse en los mercados internacionales. Este fenómeno agudiza la pobreza, lo cual acentúa algunas carencias como: servicios de salud, educación y desempleo. Dichos eventos, limitan la capacidad de los habitantes para crear alternativas económicas, las cuales no demanden como fuente principal de ingresos los recursos naturales. Las políticas públicas que apoyan el cultivo de exportación, limitan la gobernanza en las comunidades locales, ya que presionan a los productores para cambiar el cultivo sobre el que históricamente han trabajado. Tal es caso en el cambio de cultivo de caña a zarzamora.

7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

En el estado de Michoacán, el proceso de deforestación ha sido motivado por el estímulo económico que favorece el desmonte de los bosques, para cultivar aguacate de exportación y/o convertirlo en huertos frutícolas de mayor valor económico (Sáenz, 2005; Morales y Cuevas, 2011; Chávez-León et al, 2012; Morales et al, 2012). Respecto a los remanentes de bosque, estos son degradados por la interacción de la tala ilegal, la extracción de madera para combustible, el sobrepastoreo y los incendios forestales (Sáenz, 2005). En la meseta Purépecha, Garibay y Bocco (2011) resumen el CCUS en tres grandes procesos: “la especialización regional en la explotación forestal, la expansión del monocultivo de aguacate y la quiebra del sistema agrícola maicero-ganadero”. Particularmente la inserción del cultivo de aguacate en los mercados internacionales ha favorecido el desmonte de los boques y la reconversión productiva.

Pese a los escenarios alarmantes, existen casos ejemplares como la comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro, quienes han logrado concretar un modelo internacional de forestaría. Este modelo es reconocido por su capacidad para manejar los recursos forestales y faunísticos de la región, a la vez que representa avances sobre el manejo sustentable de los bosques (Garibay y Orozco, 2008). Con la expansión del cultivo de aguacate, el crecimiento de los asentamientos humanos parecen quedar opacados, ya que se acotan a una pequeña porción del territorio, pero demandan una gran cantidad de recursos naturales para cumplir con fines de producción y subsistencia.

Merino y Pérez (2005) documentaron el efecto de las políticas públicas (forestal, agraria y de conservación), sobre la *acción colectiva* de las instituciones comunitarias⁸ y los incentivos para el manejo de los bosques comunes, sobre dos comunidades de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM). Estas autoras identificaron un impacto diferencial para ambos casos de estudio, propiciado por las distintas condiciones que privan el uso de los bosques. Aunque su estudio utiliza escalas de análisis y perspectivas distintas, sus resultados señalan que el efecto de una política pública se expresa de forma distinta sobre el territorio, en algunas ocasiones puede favorecer la conservación de los bosques y en otras el deterioro. Bajo este contexto, los indicadores socioeconómicos, biofísicos y de política pública que se utilizaron para explicar el proceso de deforestación en este trabajo, también se expresan de forma diferenciada sobre el territorio. En este caso, resulta interesante comparar las conclusiones anteriores con los resultados de este trabajo, ya que ambos aportan elementos para entender la no estacionariedad espacial en el CCUS y la deforestación.

La ventaja de utilizar métodos de análisis cuantitativos o cualitativos locales, es la posibilidad de identificar regiones con necesidades específicas, por lo que se pueden fijar objetivos, planes de acción o recomendaciones para atenderlas. Este trabajo aporta evidencias para comprender las causas que operan detrás del proceso de deforestación en Michoacán. Es una propuesta metodológica que integra el uso de herramientas estadísticas aplicadas en gabinete y

⁸Según Merino y Pérez (2011) las *instituciones comunitarias* son “reglas de uso que los miembros de las comunidades asumen en distintos campos de la vida social”. Específicamente en el contexto del manejo de recursos forestales comunitarios, se refieren a “las reglas que rigen el uso de los recursos comunes del bosque y las que refieren a su protección”.

métodos descriptivos, a partir de la observación en campo. Entre las variables que favorecen el deterioro de los bosques, destaca el crecimiento de cultivos de exportación (aguacate, zarzamora, guayaba), los cuales son apoyados por políticas públicas mediante subsidios que incentivan su plantación. En algunas ocasiones, el efecto de las instituciones no se refleja directamente sobre el proceso de deforestación, sin embargo detona actividades como: la reconversión productiva en el sector agrícola, garantiza el acceso a recursos tecnológicos en zonas con potencial productivo y de mercado, modifica las dinámicas poblacionales (fenómenos de migración, nivel educativo, incorporación de la mujer al mercado laboral), propicia el desarrollo de pequeñas y medianas empresas, lo cual desde luego, impacta directamente sobre el uso de los recursos naturales (no solo los bosques).

Las instituciones públicas son un mediador importante en el proceso de toma de decisiones, ya que inciden sobre la autonomía de las comunidades locales. Es difícil hablar de gobernanza forestal cuando las decisiones respecto al uso de los recursos atienden a presiones de mercado, demográficas o de política pública. Los avances respecto al tema se merman, con la existencia de problemas estructurales de difícil solución. Por ejemplo, no es posible consolidar una buena gobernanza forestal cuando existen cuestiones como: la pobreza, bajos niveles de educación y seguridad social, desigualdad o intereses económicos de ciertos grupos de poder. Aun así, es necesario retomar los casos exitosos y aprender de ellos, ya que los retos sobre la gobernanza forestal se centran en el diseño de políticas públicas, la legitimización en el uso de los recursos y la voluntad de los organismos operadores, para tomar decisiones informadas y consensadas respecto al uso de los bosques.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Apostel, L. (1961). Towards the formal study of models in the non-formal sciences. In the concept and the role of the model in mathematics and natural and social sciences (pp. 1-37). Springer Netherlands.
- Belsley, D. A., yKuh, E. Welsch., RE (1980). Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity. Uiley Series in Probability and Mathematical Statistics.
- Bocco, G., Mendoza, M., y Masera, O. R. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigacionesgeográficas*, (44), 18-36.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Greenwich, Connecticut.
- Castella, J. C., yVerburg, P. H. (2007). Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land-use change in a mountain area of Vietnam. *Ecological modelling*, 202(3), 410-420.
- Castella, J. C., Kam, S. P., Quang, D. D., Verburg, P. H., yHoanh, C. T. (2007). Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. *Land use policy*, 24(3), 531-545.
- Charlton, M., Fotheringham, S., yBrunsdon, C. (2006). NCRM methods review papers, NCRM/006. geographically weighted regression.
- Chorley, R. J. (1964). Geography and analogue theory. *Annals of the Association of American Geographers*, 54(1), 127-137.

- Chorley, R. J., y Haggett, P. (2013). *Integrated Models in Geography (Routledge Revivals)*.
Routledge.
- Chowdhury, R. R. (2006). Landscape change in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico:
Modeling the driving forces of smallholder deforestation in land parcels.
Applied Geography, 26(2), 129-152.
- Chuvieco Salinero, E. (1996). *Fundamentos de teledetección espacial*. Rialp. Madrid, España.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2010. *Visión de México sobre REDD+. Hacia una
estrategia nacional*.
- Costa, S. S., Aguiar, A. P., Câmara, G., y Moreira, E. G. (2009). Common Concepts to
Development of the Top-Down Models of Land Changes. *Simpósio Brasileiro de
Sensoriamento Remoto*.
- Cué-Bär, E. M., Villaseñor, J. L., Arredondo-Amezcuca, L., Cornejo-Tenorio, G., y Ibarra-
Manríquez, G. (2006). La flora arbórea de Michoacán, México. *Boletín de la Sociedad
Botánica de México*, 78, 47-81.
- Demeriti, D., and Wainwright, J. (2005). *Models, modelling, and geography*.
- Dolman, A. J., Verhagen, A., y Rovers, C. A. (2003). *Global environmental change and land use*.
Springer Science & Business Media.
- Dunning Jr, J. B., Stewart, D. J., Danielson, B. J., Noon, B. R., Root, T. L., Lamberson, R. H., y
Stevens, E. E. (1995). Spatially explicit population models: current forms and future uses.
Ecological Applications, 5(1), 3-11.

- Fang, J., Chen, A., Peng, C., Zhao, S., y Ci, L. (2001). Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 292(5525), 2320-2322.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Términos y definiciones.
- FAO. (2014). El estado de los bosques del mundo. Potenciar los beneficios socioeconómicos de los bosques.
- FAO. (2015). Global Forest Resources Assessment 2015. How are the world's forest changing?.
- Farfán, M., Mas, J. F., y Osorio, L. (2012). Interpolating socioeconomic data for the analysis of deforestation: a comparison of methods. *Journal of Geographic Information System*, 4(4), 358.
- Fernández-Eguiarte A., J. Zavala-Hidalgo, R. Romero-Centeno 2016. Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, Ch. H., Mofreda, CH., Patz, A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., y Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
- Fotheringham, A. S., y Rogerson, P. A. (Eds.). (2009). *The SAGE handbook of spatial analysis*. Sage.
- Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., y Charlton, M. (2002). *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons.

- Friedl, M. A., McIver, D. K., Hodges, J. C., Zhang, X. Y., Muchoney, D., Strahler, A. H., Woodcock, C.E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., ySchaaf, C. (2002). Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *RemoteSensing of Environment*, 83(1), 287-302.
- Garibay, C., yBocco, G. (2011). Cambios de uso de suelo en la meseta purépecha (1976-2005). INE-Semarnat y CIGA-UNAM. México, DF.
- Geist, H. J., yLambin, E. F. (2002). A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. *LUCC Report Series*, 4.
- Getis, A., y Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis*, 24(3), 189-206.
- Gollini, I., Lu, B., Charlton, M., Brunsdon, C., y Harris, P. (2013). GWmodel: an R package for exploring spatial heterogeneity using geographically weighted models.
- Golobič, M., yBreskvar, L. Ž. (2010). Landscape planning and vulnerability assessment in the Mediterranean. Ljubljana: Regional Activity Centre for the Priority Actions Programme.
- Gomariz Castillo, F. J., y Guardiola Bartolomé, J. V. (2013). Modelos de distribución espacial: métodos de interpolación. *Dinámica de Poblaciones Marinas*.
- Goodchild, M. F. (2000). New horizons for the social sciences: geographic information systems. *Social Sciences for a Digital World Building Infrastructure and Databases for the Future: Building Infrastructure and Databases for the Future*, 173.
- Goodchild, M. F., Lam, N. S. N., y University of Western Ontario. Dept. of Geography. (1980). Areal interpolation: a variant of the traditional spatial problem. London, Ont.: Department of Geography, University of Western Ontario.

- H.Gyde Lund. (1999). A 'forest' by any other name..., *Environmental Science & Policy*, 2 (2), 125-133.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., y Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853. Datos disponibles en: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.
- Harvey, D., y Rodrigo, G. L. (1983). *Teorías, leyes y modelos en geografía*. Alianza Editorial.
- Hersperger, A. M., Gennaio, M. P., Verburg, P. H., yBürgi, M. (2010). Linking land change with driving forces and actors: four conceptual models. *Ecology and Society*, 15(4), 1.
- Hessburg, P. F., Smith, B. G., Miller, C. A., Kreiter, S. D., y Salter, R. B. (1999). Modeling change in potential landscape vulnerability to forest insect and pathogen disturbances: methods for forested subwatersheds sampled in the midscale interior Columbia River basin assessment.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2010). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2010*.
- IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso).

- Irwin, E. G., yGeoghegan, J. (2001). Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1), 7-24.
- Jeffery, M. (2009). Book Review: *International Law and the Environment*, by Patricia Birnie, Alan Boyle, and Catherine Redgwell. *Osgoode Hall Law Journal*, 47(3), 595–601.
- Jeuck, J. A., Cubbage, F. W., Abt, R. C., Bardon, R. E., McCarter, J. B., Coulston, J. W., yRenkow, M. A. (2014). Assessing Independent Variables Used in Econometric Modeling Forest Land Use or Land Cover Change: A Meta-Analysis. *Forests*, 5(7), 1532-1564.
- Kannien, M., Murdiyarso, D., Seymour, F., Angelsen, A., Wunder, S., y German, L. (2008). ¿Crecen los árboles sobre el dinero?: implicaciones de la investigación sobre deforestación en las medidas para promover la REDD (Vol. 4). CIFOR.
- Kauppi, P. E., Ausubel, J. H., Fang, J., Mather, A. S., Sedjo, R. A., y Waggoner, P. E. (2006). Returning forests analyzed with the forest identity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(46), 17574-17579.
- Kaźmierczak, A., yCavan, G. (2011). Surface water flooding risk to urban communities: Analysis of vulnerability, hazard and exposure. *Landscape and Urban Planning*, 103(2), 185-197.
- Lambin, E. F. (1994). Modelling deforestation processes: a review tropical ecosystem environment observations by satellites.
- Lambin, E. F. (1997). Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21(3), 375–393.
<http://doi.org/10.1177/030913339702100303>
- Lambin, E. F., Geist, H. J., y Lepers, E. (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 28(1), 205-241.

- Landis, J. D. (1995). Imagining land use futures: applying the California urban futures model. *Journal of the American Planning Association*, 61(4), 438-457.
- Lee, D., Neves, B., Wiebe, K., Lipper, L., y Zurek, M. (2009). Rural poverty and natural resources: Improving access and sustainable management. *ESA WorkingPaper*, (09-03).
- Leis, H., y D'AMATO, J. (2005). Para una teoría de las prácticas del ambientalismo mundial. *Revista Theomai. Estudios sobre Sociedad, Naturaleza y Desarrollo*, primer semestre, (11).
- Li, J. (2008). A review of spatial interpolation methods for environmental scientists.
- Li, X., y Yeh, A. G. O. (2002). Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(4), 323-343.
- Lu, B., Harris, P., Charlton, M., y Brunsdon, C. (2014). The GWmodel R package: further topics for exploring spatial heterogeneity using geographically weighted models. *Geo-spatial Information Science*, 17(2), 85-101.
- March, I. J., Carvajal, M. A., Vidal, R. M., San Román, J. E., y Ruiz, G. (2009). Planificación y desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad. *Capital natural de México*, 2, 545-573.
- Martin, R. M. (2008). Deforestation, land-use change and REDD 3.
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International journal of remote sensing*, 20(1), 139-152.

- Mas, J. F., Kolb, M., Paegelow, M., Olmedo, M. T. C., yHouet, T. (2014). Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *EnvironmentalModelling& Software*, 51, 94-111.
- Mas, J. F., Osorio, L. P., Guerra, F., yMaass, M. (2014). Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*.
- Mas, J. F., Sorani, V., yAlvarez, R. (1996). Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, octubre, especial 5 Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México.
- Mas, J. F., Vega, A. P., y Clarke, K. (2010). Assessing “spatially explicit” land use/cover change models.
- Mas, J. F., Velázquez, A., yCouturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 1(1).
- Mas, J.F., González, R-, Lemoine-Rodríguez, R., López-Sánchez, J., Piña-Garduño, A., y Herrera-Flores, E. Actualizaciones sucesivas de mapas de cubierta del suelo combinando segmentación de imágenes e interpretación visual. En: *Memoria en extensor SELPER-XXI-México-UACJ-2015*. Ciudad Juárez, Chihuahua, México, 2015.
- Maseda, R. C., y Paleo, U. F. (2012). *Territorios a examen: trabajos de ordenación territorial*. Servicio de Publicacións e Intercambio Científico.
- Menard, S. (2002). *Appliedlogisticregressionanalysis* (No. 106). Sage.
- Mercado Vargas, H. yPalmerín Cerna, M. (2012). *El estado de Michoacán y sus regiones turísticas*.

- Merino Pérez, L. (2004). Conservación o deterioro: el impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en los usos de los bosques en México. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Mertens, B., y Lambin, E. F. (1997). Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon: spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, 17(2), 143-162.
- Meyer, W. B., y BL Turner, I. I. (1994). Changes in land use and land cover: a global perspective (Vol. 4). Cambridge University Press.
- Meyer, W. B., y Turner, B. L. (1992). Human population growth and global land-use/cover change. *Annual review of ecology and systematics*, 39-61.
- Mitas, L., y Mitasova, H. (1999). Spatial interpolation. *Geographical information systems: principles, techniques, management and applications*, 1, 481-492.
- Mitchell, A. (2005). La Guía de Esri para el análisis SIG.
- Moctezuma, M. y Gaspar, S. (2013). Población, internacional mexicana y remesas familiares. En J. L. Calva (Ed.), *Los jóvenes de hoy. Presente y futuro*, (pp. 166-188). México: Juan Pablos. (Colección de libros Análisis Estratégico para el Desarrollo)
- Morales, R. M. J., (1970). Los modelos en geografía. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 3, 90-95.
- Morales-Barquero, L., Skutsch, M., Jardel-Peláez, E. J., Ghilardi, A., Kleinn, C., y Healey, J. R. (2014). Operationalizing the definition of forest degradation for REDD+, with application to Mexico. *Forests*, 5(7), 1653-1681.
- Naciones Unidas. (1972). Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano.

- Naciones Unidas. (1992). Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo.
- Naciones Unidas. (2005). Objetivos de desarrollo del Milenio: Informe de 2005. United Nations Publications.
- Naciones Unidas. (2012). Desde Río hasta Río+20: Progresos y dificultades después de la Cumbre para la Tierra de 1992.
- National Research Council. (2014). Advancing Land Change Modeling: Opportunities and Research Requirements. National Academies Press.
- Newburn, D., Reed, S., Berck, P., y Merenlender, A. (2005). Economics and Land-Use Change in Prioritizing Private Land Conservation. *Conservation Biology*, 19(5), 1411-1420.
- Nunes, C., y Auge, J. I. (1999). Land-use and land-cover change (LUCC): Implementation strategy.
- Ortiz-Espejel, B., y Toledo, V. M. (1998). Tendencias en la deforestación de la Selva Lacandona (Chiapas, México): el caso de Las Cañadas. *Interciencia*, 23(6), 318-327.
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Candell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., y Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993.
- Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., y Deadman, P. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Annals of the association of American Geographers*, 93(2), 314-337.
- Pattison, W. D. (1964). The four traditions of geography. *Journal of Geography*, 63(5), 211-216.
- Pearce, D. W., y Pearce, C. G. (2001). The value of forest ecosystems.

- Pelling, M. (2003). *The vulnerability of cities: natural disasters and social resilience*. Earthscan.
- Pineda Jaimes, N. B., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M., y Plata Rocha, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes: Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones geográficas*, (69), 33-52.
- Pineda, J. N., Bosques, S. J. B., Gomez, D. M. G., y Plata, R. F. (2010). Exploring the driving forces behind deforestation in the state of Mexico (Mexico) using geographically weighted regression. *Applied Geography*, 30(4), 576-591.
- Pineda, J. N., Bosques, S. J. B., Gomez, D. M. G., y Plata, R. F. (2011). Análisis de los factores inductores de los cambios ocurridos en la superficie forestal del estado de México en el período 1993-2000. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (56), 9-34.
- Pontius, R. G., Cornell, J. D., y Hall, C. A. (2001). Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 85(1), 191-203.
- Propastin, P. (2013). Large-scale mapping of aboveground biomass of tropical rainforest in Sulawesi, Indonesia, using Landsat ETM+ and MODIS data. *GIScience & Remote Sensing*, 50(6), 633-651.
- R Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- Radeloff, V. C., Nelson, E., Plantinga, A. J., Lewis, D. J., Helmers, D., Lawler, J. J., Withey, J.C., Beaudry, F., Martinuzzi, S., Butsic, V., Lonsdorf, E., yPolasky, S. (2012). Economic-based

projections of future land use in the conterminous United States under alternative policy scenarios. *Ecological Applications*, 22(3), 1036-1049.

Ramankutty, N., y Foley, J. A. (1999). Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global biogeochemicalcycles*, 13(4), 997-1027.

Ramírez Sánchez, L. G. (2013). Evaluación de la heterogeneidad de los paisajes físico-geográficos de Michoacán.

Rockström, J., Steffen, W. L., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, Carl., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., A. de Wit, C., Hughes, T., Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, S., Karlberg, L., Corell, R. W., J. Fabry, V., Hansen, J., Walker, B., Lverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., y Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity.

Rodrigues, M., de la Riva, J., y Fotheringham, S. (2014). Modeling the spatial variation of the explanatory factors of human-caused wildfires in Spain using geographically weighted logistic regression. *Applied Geography*, 48, 52-63.

Rowan, J. (1990). *Land Systems of Victoria*. Department of Conservation and Environment and Land Conservation Council.

RStudio Team (2015). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>

Rudel, T. K., Coomes, O. T., Moran, E., Achard, F., Angelsen, A., Xu, J., yLambin, E. (2005). Forest transitions: towards a global understanding of land use change. *Global environmentalchange*, 15(1), 23-31.

- Ruiz, N. (2012). La definición y medición de la vulnerabilidad social. Un enfoque normativo. *Investigaciones geográficas*, (77), 63-74.
- Sánchez-Cuervo, A. M., Aide, T. M., Clark, M. L., y Etter, A. (2012). Land cover change in Colombia: surprising forest recovery trends between 2001 and 2010. *PLoS One*, 7(8), 1-14.
- Sanchez-Cuervo, A. M., y Aide, T. M. (2013). Consequences of the armed conflict, forced human displacement, and land abandonment on forest cover change in Colombia: a multi-scaled analysis. *Ecosystems*, 16(6), 1052-1070.
- Silvestrini, M., Cysneiro, A. D., Lopes Lima, A., GiorgetiVeiga, L., Isernhagen, I., Tamashiro, J. Y., Gandolfi, S., y Ribeiro Rodríguez, R. (2012). Natural regeneration in abandoned fields following intensive agricultural land use in Atlantic forest island, Brazil. *Árvore*, 34(4), 659-671.
- Soares-Filho, B., Rodrigues, H., y Follador, M. (2013). A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models. *Environmental Modelling & Software*, 43, 80-87.
- Songchitruksa, P., y Zeng, X. (2010). Getis-Ord spatial statistics to identify hot spots by using incident management data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2165), 42-51.
- Stewart Fotheringham, A., y Rogerson, P. A. (1993). GIS and spatial analytical problems. *International Journal of Geographical Information Science*, 7(1), 3-19.
- Stoltman, J. P., Lidstone, J., y Dechano, L. M. (Eds.). (2007). *International perspectives on natural disasters: Occurrence, mitigation, and consequences* (Vol. 21). Springer Science & Business Media.

- Suppes, P. (1961). A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences (pp. 163-177). Springer Netherlands.
- Thapa, R. B., y Murayama, Y. (2009). Land use change factors in Kathmandu valley: A GWR approach. In Proceedings of the 10th international conference on geocomputation (pp. 255-260).
- Turner, M. G., Arthaud, G. J., Engstrom, R. T., Hejl, S. J., Liu, J., Loeb, S., yMcKelvey, K. (1995). Usefulness of spatially explicit population models in land management. *Ecological Applications*, 12-16.
- Uriarte, M., Condit, R., Canham, C. D., y Hubbell, S. P. (2004). A spatially explicit model of sapling growth in a tropical forest: does the identity of neighbours matter?. *Journal of Ecology*, 92(2), 348-360.
- Valbuena, D., Verburg, P. H., Bregt, A. K., yLigtenberg, A. (2010). An agent-based approach to model land-use change at a regional scale. *Landscape Ecology*, 25(2), 185-199.
- Veldkamp, A., yLambin, E. F. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, ecosystems & environment*, 85(1), 1-6.
- Verburg, P. H., yVeldkamp, A. (2001). The role of spatially explicit models in land-use change research: a case study for cropping patterns in China. *Agriculture, ecosystems&environment*, 85(1), 177-190.
- Villaseñor, G. L. E. (2005). La biodiversidad en Michoacán: estudio de estado. México, DF: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Gobierno del Estado de Michoacán, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- Vitousek, P. M. (1994). Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*, 75(7), 1861-1876.
- Walker, R. (2004). Theorizing land-cover and land-use change: The case of tropical deforestation. *International Regional Science Review*, 27(3), 247-270.
- Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of environmental management*, 64(3), 273-284.
- White, R., yEngelen, G. (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and planning A*, 25(8), 1175-1199.
- Wickham, J. D., O'Neill, R. V., y Jones, K. B. (2000). A geography of ecosystem vulnerability. *Landscape Ecology*, 15(6), 495-504.
- Wu, F. (1998). SimLand: a prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-derived transition rules. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(1), 63-82.
- Xie, Z. (2006). A framework for interpolating the population surface at the residential-housing-unit level. *GIScience& Remote Sensing*, 43(3), 233-251.
- Yang, J., Chen, F., Xi, J., Xie, P., y Li, C. (2014, June). A Multitarget Land Use Change Simulation Model Based on Cellular Automata and Its Application. In *Abstract and Applied Analysis* (Vol. 2014). Hindawi Publishing Corporation.
- Zavala, M. A., Díaz-Sierra, R., Purves, D., Zea, G. E., yUrbieta, I. R. (2006). Modelos espacialmente explícitos. *Revista Ecosistemas*, 15(3).

Zhang, L., and Gu, Y. (Eds.). (2013). Information Systems and Computing Technology. CRC Press.