

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGOS
Y CAMBIO CLIMÁTICO.
LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA.**

TESIS

**MODELACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y CAMBIO DE USO
DE SUELO 2005 AL 2025, EN LA MICROCUENCA LA
UNIÓN EN EL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO,
CHIAPAS.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**PRESENTA
ARIOSTO LÓPEZ ALEGRÍA.**

**DIRECTOR
ING. MAURICIO JOSÉ RÍOS.**

**CO-DIRECTORA
DRA. MICHELLE FARFÁN GUTIÉRREZ.**

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

DICIEMBRE DE 2017





Lugar: TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS
 Fecha: NOVIEMBRE 30, 2017

C. ARIOSTO LÓPEZ ALEGRÍA

Pasante del Programa Educativo de: LICENCIATURA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

MODELACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y CAMBIO DE USO DE SUELO 2005 – 2025, EN LA

MICROCUENCA LA UNIÓN EN EL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS

En la modalidad de TESIS PROFESIONAL

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN
 EN GESTIÓN DE RIESGO
 Y CAMBIO CLIMÁTICO
 COORDINACIÓN
 DE TITULACIONES

Revisores:

DRA. MICHELLE FARFÁN GUTIÉRREZ

MTRO. JOSÉ FRANCISCO PINTO CASTILLO

ING. MAURICIO JOSÉ RÍOS

Firmas:

AGRADECIMIENTOS.

Porque Dios es el que en vosotros produce así el querer como el hacer, por su buena voluntad. Filipenses 2:13. Agradezco al Dios de mi vida por su Gracia infinita y a la Iglesia Nacional Presbiteriana Luz de Redención por tenerme presente.

A mis directores, por sus infinitas cualidades, que sin escatimar tiempo alguno estuvieron al pendiente durante el desarrollo del proyecto.

Dra. Michelle Farfán, por su paciencia al dirigirme y acompañarme durante el proceso con el software DINAMICA EGO y sus revisiones constantes del presente documento.

Mtro. Mauricio José, gracias infinitas por todo el apoyo recibido, como maestro en el aula pero también como un amigo dentro y fuera de ella.

Mtro. Francisco Pinto, por ser parte del comité revisor y por ser de los maestros que hizo ver la parte humana de cada uno como profesionales.

A mis padres Límbano y Madaí. Grande es la dicha de ser hijo suyos, por sus ejemplos de superación, trabajo constante y enseñanzas en todo momento a pesar de las adversidades, y a mis hermanos por todos sus apoyos recibidos.

Agradezco profundamente al Consejo de Ciencias y Tecnología del Estado de Chiapas (COCyTECH), por otorgarme la beca de Tesis y concluir este proyecto.

A la Ing. Mayra Flores, Mtra. Brenda Jiménez Gordillo, Jessica Gordillo Salazar, por el carisma tan particular en sus atenciones durante los trámites realizados en el COCyTECH.

Dra. Silvia G. Ramos H. y Contadora Mercedes Aguilar por ser parte fundamental de que haya realizado la estancia de investigación en la Universidad de Guanajuato donde llevé a cabo la parte final de la tesis.

Reconozco la labor y dedicación de mis maestros en la licenciatura, que siempre se ocuparon en dar lo mejor de ellos, por transmitir sus conocimientos, con certeza, humildad y dedicación.

Las palabras no me alcanzan para agradecerte Makenlly, por tu gran ayuda incondicional que me brindaste. A todos mis compañeros de generación de quienes aprendí mucho, y especialmente a Omar, Mariela, Bernardo, Lorena, Daniel y Mariana.

A la familia Zavaleta Palacios y Álvarez López por la humildad y sencillez de corazón, por sus palabras que siempre fueron de ánimos.

A mis maestros del COBACH, que fueron pieza fundamental para continuar con mis estudios, Mtro. Gerardo Flores, Mtra. Martha Hernández y Mtro. Pedro Palma.

A Gabriel Ojeda, Gabriel Torres, Gabriel Martínez y Jorge Pérez Archila que en diversos momentos me apoyaron.

Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas. A él sea la gloria por los siglos. (Romanos, 11:36).

DEDICATORIA

Dedico el presente al Altísimo, por fe le he conocido, y por esa fe me ha dado de su Gracia.

A mis padres, hermanos, mi niño Azael, y los que creyeron en mí, el logro también es de ellos.

CONTENIDO

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Cuenca.....	5
2.2. Partes de la cuenca.....	6
2.3. Funciones de la cuenca	7
2.4. Degradación de las cuencas hidrográficas.....	9
2.5. Deforestación.....	10
2.6. Cambio de cubierta y uso de suelo (CCUS).....	12
2.7. Los sistemas de información geográfica (SIG) y percepción remota.	12
2.7.1. ¿Qué es un SIG?.....	13
2.7.2. Percepción remota.....	13
2.8. Modelación y simulación.	15
2.9. Modelación con DINÁMICA EGO.....	17
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
4. ANTECEDENTES.....	20
5. JUSTIFICACIÓN.....	24
6. HIPÓTESIS.....	24
7. OBJETIVOS.....	25
7.1. Objetivo general.	25
7.2. Objetivos particulares.....	25
8. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
8.1. Área de estudio	26
8.2 Método	33

8.2.1. Materiales	33
8.2.2. Generación de cartografía	33
8.2.3. Tasas de cambio y matrices de transición	35
8.2.4. Identificación de variables ambientales asociadas a la deforestación .	36
8.2.5. Modelación de la deforestación y del escenario tendencial	37
9. RESULTADOS	42
9.1 Procesos de cambio de los tipos vegetación y usos del suelo 2005-2016...	42
9.2 Tasas y transiciones de cambio	47
9.3 Modelo de deforestación y escenario tendencial al 2025.....	51
9.4 Mapa de probabilidad de deforestación	53
9.5 Simulación y validación del modelo de deforestación	55
10. DISCUSIÓN	60
11. CONCLUSIÓN	65
11. REFERENCIAS	67

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Localización de la Microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.....	27
Figura 2. Mapa hidrológico, en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.....	29
Figura 3. Mapa de red de caminos en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.	30
Figura 4. Mapa de distribución de localidades, en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.	31
Figura 5. Algunas de las variables ambientales usadas en el modelo de deforestación.....	37
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de modelación, tomada de Mas y Flamenco (2011).....	38
Figura 7. Gráfico de las superficies que presentan los usos de suelo y vegetación, en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.	42
Figura 8. Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2005, en la microcuenca La unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.....	44
Figura 9. Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2011, en la microcuenca La unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.....	45
Figura 10. Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2016, en la microcuenca La unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.....	46
Figura 11. Mapa de los sitios deforestados en el periodo, a) 2005-2011, b) 2011-2016	47
Figura 12. Tasas de cambio del periodo 2005-2011..	48

Figura 13. Tasas de cambio del periodo 2011-2016.	49
Figura 14. Representación esquemática de los procesos de cambio de cubierta/uso de suelo en el periodo 2005-2011.	50
Figura 15. Representación esquemática de los procesos de cambio de cubierta/uso de suelo en el periodo 2011-2016.	50
Figura 16. Variables que tuvieron mayores pesos para cada uno de las transiciones consideradas de la vegetación de selva baja caducifolia (VSBC) hacia la agricultura de riego (AGR), agricultura de temporal (AGT) Y pastizal inducido (PI)	52
Figura 17. Mapas de probabilidad de cambio.....	54
Figura 18. Similitud: a) mapa real observado 2016, b) mapa simulado al 2016...	56
Figura 19. Gráfico de validación de similaridad del mapa simulado 2025.	57
Figura 20. Gráfico de las superficies de las cubiertas y usos de suelo, a través de los años, microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas...	58
Figura 21. Mapa de uso de suelo y vegetación simulado al año 2025.	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de cultivos en el municipio de Chiapa de Corzo	32
Cuadro 2. Clases utilizadas para la clasificación de las capas de usos de suelo y vegetación.....	34
Cuadro 3. Variables ambientales empleadas para analizar su relación con la deforestación en el periodo 2005-2011	36
Cuadro 4. Evolución de los cambios totales en superficie (ha) por cubierta y uso de suelo de 2005 al 2016 para la microcuenca La Unión en el Municipio Chiapa de Corzo, Chiapas.....	43
Cuadro 5. Asociación de las variables, ambientales y socioeconómicas con la deforestación.....	51

RESUMEN

La dinámica de cambio de cubierta y uso del suelo en la microcuenca La Unión, en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, ha promovido la deforestación de sus cubiertas forestales. En el presente estudio se llevó a cabo un análisis del proceso de deforestación y se desarrolló un modelo tendencial del proceso de deforestación de la vegetación de selva baja caducifolia (VSBC) al año 2025. La cartografía empleada corresponde a tres fechas, 2005-2011 (periodo de calibración) y 2016 (para la validación del modelo), a escala 1:20,000.

Se encontró que para 2005 la VSBC ocupaba 34.2 % (8,161 ha) de la superficie total de la microcuenca, en 2016 esta cubierta fue de 25.1 % (7,182 ha), 9.1 % menos en 11 años, lo que representa un total de 2,168 hectáreas deforestadas, destinadas a otros usos de suelo. Las tasas de cambio estimadas para los dos periodos presentaron tendencia de deforestación alta, -10.16 %/año (2005-2011) y -16.67 %/año (2011-2016). Las variables promotoras del cambio demostraron tener una correlación positiva siendo la red de caminos una de las variables con mayor influencia. Con la simulación, se esperaría que al año 2025 la VSBC sea del 13.9 % (3,311 ha) de la superficie en la microcuenca, (11.2 % menos que en 2016 (2,682 ha)), así mismo, se pone en evidencia el crecimiento de asentamientos humanos y la expansión de superficies destinadas a tierras agrícolas especialmente el pastizal inducido, uso de suelo que mayor superficie ganó a través de los años, dedicado a la ganadería.

1. INTRODUCCIÓN.

Los ecosistemas forestales que actualmente conocemos reflejan el resultado de una constante transformación por diversas actividades antrópicas, tales como el crecimiento demográfico y la agricultura, caracterizadas por un proceso de remoción de la cubierta natural hacia otro uso del suelo, proceso conocido como deforestación (PROFEPA, 2012; FAO, 2011). La deforestación puede ser evaluada con respecto a las causas inmediatas que la provocan, tal como la extensión de la frontera agrícola, el crecimiento poblacional, el desarrollo de nuevas infraestructuras, o a partir de las fuerzas estructurales o conducentes que la provocan, que pueden o no ser exógenas al sistema, como el caso de las modalidades de tenencia de la tierra o la misma gobernanza del cambio de uso de la tierra (Lambin, 1997; Mas, 2014; Meyfroidt y Lambin, 2015).

A nivel mundial la pérdida de cubierta forestal se ha dado a partir de la expansión a tierras agrícolas, encaminados a 2 tipos de agricultura: de tipo comercial y de subsistencia. A nivel mundial la agricultura representa más de un tercio (37.7 %) de la superficie y los bosques y otras tierras algo menos de un tercio cada uno (30.7 % y 31.6 %, respectivamente) (FAO, 2016). Partiendo de este hecho, la FAO (2015), a través de la Evaluación de los recursos forestales mundiales, demostró que en el mundo la forestal se redujo 129 millones de hectáreas (3.1%) en el periodo de 1990 al 2015. La dinámica del cambio de uso del suelo responde también a otros factores físicos como el tipo de suelo y el clima. En el periodo del 2000 al 2010 las regiones tropicales registraron un decremento importante de la superficie forestal (FAO, 2015). La agricultura comercial originó casi el 70 % de la

deforestación en América Latina en el período 2000-2010. En la Amazonia en particular, la producción de agronegocios para los mercados internacionales como, por ejemplo, el pastoreo extensivo, el cultivo de soya y las plantaciones de palma aceitera se ha identificado como principal factor de la deforestación posterior a 1990 (Rudel et al., 2009; Boucher et al., 2011).

En México, en los años 2005 y 2010 la cantidad de hectáreas deforestadas fueron de 583,000 ha/año y 440,000 ha/año respectivamente (FAO, 2015). Parece ser alentador la disminución de las hectáreas estimadas de un periodo a otro, sin embargo, López et. al. (2012), relaciona esta aparente disminución de cifras de deforestación por causas relacionadas con el hecho de que la mayor parte de los bosques que quedan están en lugares pocos aptos para la agricultura, las condiciones topográficas no son aptas y la calidad de los suelos no responden a los objetivos agropecuarios, entre otros. Bajo este mismo contexto, en el estado de Chiapas, un estudio realizado para el Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas (PACCCH, 2012) entre 1993 y 2007 determinó un total de 811,873 ha de bosques que han sido deforestadas.

Si bien, los efectos de pérdida de cubierta vegetal a nivel local y mundial, no tienen repercusión de manera directa en un solo sistema, sino que actúa de manera sinérgico hacia otros sistemas físicos y biológicos. Por tanto, la importancia de un enfoque a partir del manejo integrado de cuencas, el cual permite conocer más que un espacio territorialmente definido, un sistema complejo que contiene una variedad de componentes físicos. Sumada la estrecha relación con los diversos ámbitos de la sociedad, cultura, tradición, actividades económicas y condición social

(Moreno y Renner, 2007). Por ello, la adecuada planeación y gestión de la cuenca requiere la comprensión sistémica de las interacciones entre el medio biofísico, los modos de apropiación del territorio y la influencia que tienen las instituciones existentes (Cotler, 2004).

El presente estudio analiza algunos factores relacionados con las actividades humanas y su impacto en la dinámica de la cubierta vegetal (CV) y cambio de uso de suelo (CUS). Principalmente de la vegetación de selva baja caducifolia (VSBC) (Miranda y Hernández X., 1963), también conocida como bosques tropicales secos (Rzedowski, 1978) hacia usos de suelo agropecuarios, teniendo como base la dinámica de cambio observada durante el periodo del 2005 al 2011 (periodo de calibración), dicho periodo de tiempo permitió establecer un modelo de simulación tendencial al año 2025 de la dinámica de cambio del uso de suelo y vegetación (USV) en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, como zona de estudio.

2. MARCO TEÓRICO.

México es considerado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2015) como uno de los 10 países con mayor biodiversidad, que proporciona cantidades vastas de bienes y servicios ambientales para los seres vivos; en la medida de uso y demanda, estos recursos no cuentan con una seguridad de su permanencia a través del tiempo (Ehrlich y Ehrlich, 1992). El conocimiento sobre dichos recursos se ha basado en diversos estudios, uno de ellos es el análisis espacial a nivel de cuencas, para comprender el comportamiento y dinámica de elementos físicos y sociales que interaccionan dentro de esta unidad.

2.1. Cuenca.

La cuenca como unidad natural ha sido la base para articular procesos de gestión en el uso del territorio con miras a un desarrollo sostenible, poniendo énfasis en problemas como el cambio climático y la explotación de los recursos naturales no renovables (Chamochumbi, 2010). Una cuenca, es “la unidad del territorio, delimitada por un parteaguas o divisoria de las aguas, en donde ocurre el agua en distintas formas y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal” (Burgos y Bocco, 2014). Respecto a las cuencas hidrográficas Burgos et al. (2015), sostienen que el agua tiene una trayectoria desde el parteaguas a niveles base siguiendo un movimiento sobre la topografía, influenciado principalmente por la gravedad.

De esta manera, una cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con su curso principal (Cotler, 2004), donde el trazo de la red hídrica es fundamental para delimitar los espacios en que se puede dividir la cuenca. Por ejemplo, al curso principal llega un afluente secundario, este comprende una subcuenca, mientras que al curso principal de una subcuenca llega un afluente terciario, este comprende una microcuenca (World Vision).

Por lo anterior, la microcuenca “es el espacio donde ocurren las interacciones más fuertes entre el uso y manejo de los recursos naturales (acción antrópica) y el comportamiento de estos mismos recursos (acción del ambiente)” (Alatorre, 2008), por lo que en ningún otro ámbito de trabajo que pudiera ser considerado guarda dicha relación.

2.2. Partes de la cuenca

La topografía influye de diversas formas en las cuencas, las partes más altas de la cuenca son zonas clave para del manejo integrado de todo el sistema hidrográfico, pues es allí donde se infiltra una gran cantidad del agua que se precipita en la cuenca y que alimenta a los flujos subterráneos, (Black, 1996). Por otra parte, las zonas intermedias de las cuencas, por su carácter y posición media entre la cuenca alta y la cuenca baja, suelen ser áreas aptas para el almacenamiento hídrico pues la red de drenaje comienza a integrarse debido a la confluencia de afluentes de órdenes mayores, por lo que la cuenca media es una zona de mezcla y transición hidrológica hacia las zonas de desembocadura o salida del sistema (Garrido et.al, 2009). Finalmente, la cuenca baja suele ser una zona donde las corrientes

comienzan a disminuir su velocidad y erosividad, transformándose en áreas de mayor estabilidad y depósito de sedimentos (planicies aluviales), es el área que desaloja el agua de todo el sistema hacia el mar o a un cuerpo de agua interior (Garrido et.al, 2009).

Dentro del tema de planificación y ordenamiento territorial, el análisis desde una perspectiva de cuencas, actualmente es considerado una de las unidades factibles para el estudio de los paisajes. En este sentido Cotler y Priego (2004) proponen que a partir de la cartografía de los paisajes hidrológicos “es posible obtener una caracterización adecuada de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas (cabecera, captación-transporte y emisión), lo cual es esencial para comprender la dinámica del uso del suelo en las cuencas hidrográficas”.

2.3. Funciones de la cuenca

Como entidad espacial, la cuenca funciona como un sistema complejo, dinámico y abierto, por lo que permite entender las interrelaciones entre los recursos y condiciones naturales (relieve-suelo-clima y vegetación), así como las formas en las cuales la población se organiza para apropiarse de los mismos y su impacto en la cantidad, calidad y temporalidad del agua y otros recursos (Burgos y Bocco, 2015). Por tanto, el enfoque de cuencas nos da la posibilidad de evaluar y explicar aquellos agentes que tienen la capacidad de transformar el uso de suelo, razón por la que se considera que “las cuencas hídricas constituyen un marco apropiado para el análisis de los procesos ambientales generados como consecuencia de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos suelo, agua y vegetación” (Cotler y Priego, 2004).

Para comprender a groso modo estas funciones, Rosales y García (2015) hacen explícito algunas características de las funciones, tanto ecológicas como socioeconómicas de una cuenca, separando las funciones ecológicas y socioeconómicas.

Funciones ecológica de las cuencas

- **Provisión de hábitats de fauna acuática y terrestre.** Las cuencas hidrográficas contienen una multiplicidad de hábitats de vida silvestre terrestre y acuática debido a la variabilidad espacial de sus componentes bióticos y abióticos.
- **Los bosques en las cuencas hidrográficas.** Tiene relevancia especial en el funcionamiento ecohidrológico de las cuencas hidrográficas que tienen los ecosistemas dominados por formaciones boscosas: áreas de amplia biodiversidad, hábitats de fauna, regulación y atenuación del flujo de las aguas superficiales y conectores ecológicos en los diferentes tramos de la cuenca.

Funciones Socioeconómicos de las cuencas; además de los servicios ambientales y ecológicos, proveen de espacios y medios para llevar a cabo diferentes actividades en pro de la especie humana.

- Espacios agrícolas con exigencias agroclimáticas específicas.
- Espacios para asentamientos humanos, por la existencia de condiciones climáticas y de salud favorables.
- Sitios para el emplazamiento de obras de aprovechamiento hidráulico, con fines múltiples, como son los embalses.

- Espacios con recursos escénicos naturales para el turismo y la recreación.

2.4. Degradación de las cuencas hidrográficas

La manera en que se aprovecha los recursos dentro de la cuenca, no siempre es de la forma adecuada, motivo por el cual los recursos disminuyen pasando a un proceso de degradación dentro de la misma. (Rosales y García, 2015), se refieren a la degradación como el “deterioro, de origen natural o antrópico, de sus recursos naturales, que afecta y disminuye las funciones básicas de las cuencas”. Bajo condiciones como:

- Alteración de los mecanismos naturales que regulan el flujo de agua.
- Desmejora significativa de la calidad del agua aprovechable.
- Pérdida del valor ecológico de sus espacios naturales y humanizados.
- Afectación de las funciones socioeconómicas.

Por su parte la FAO (2011) y Rosales y García (2015) consideran como principales factores degradantes acciones como:

- Cambio de uso de la tierra: Se refiere a los cambios de usos de la tierra sustentables y de gran valor ecológico, en otros usos de poca o ninguna sustentabilidad;
- Deforestación: Por sus efectos sobre el comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas promueve la erosión de suelos y movimientos en masa, la pérdida de biodiversidad y hábitats de fauna silvestre.
- La minería ilegal: La actividad minera de superficie (ilegal) trae consigo efectos degradantes en los ecosistemas, al realizar deforestaciones intensas y remoción de suelos mediante monitores hidráulicos de alta potencia.

- Incendios: Constituyen una causa natural y antrópica importante de la pérdida de vegetación, especialmente boscosa, que trae consigo pérdida de biodiversidad y hábitats de fauna.
- Movimientos en masa: Son movimientos masivos de materiales de suelos, rocas, que se desprenden o deslizan por acción de la gravedad y el agua, desde las vertientes montañosas.

2.5. Deforestación.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2010) define a la deforestación como “La acción de desmontar total o parcialmente las formaciones arbóreas para dedicar el espacio resultante a fines agrícolas, ganadero o de otro tipo”. Por su parte, la PROFEPA la atribuye a “acciones que conllevan a una modificación de la vocación natural del terreno total o parcial de la vegetación a raíz de las actividades antrópicas”. En este contexto Mas (2011) refiere a las consecuencias que este proceso desencadena, tales como; “pérdida de biodiversidad, erosión de suelos y la emisión de gases de efecto de invernadero”. Por ende, este proceso ha ocasionado que se modifique la estructura de la cubierta vegetal, principalmente por los tipos de usos del suelo.

Si bien, existen factores desencadenantes, por lo que Turner y Il-Meyer, (1994), PNUMA (2010) y Mas (2014), consideran que estos factores tienen relación con la tala inmoderada, apertura de red de caminos, crecimiento poblacional, demanda de alimentos y combustibles, ampliación de terrenos agrícolas e incendios, como causas directas de la deforestación.

Al momento de realizar tales acciones se pierde en buena medida las funciones que cumplía la cubierta vegetal, puesto que es uno de los elementos indicadores del buen funcionamiento de los elementos con que interacciona el clima, suelo y geología junto con la expresión topográfica, si es perturbado, genera una cadena de consecuencias para los sistemas bióticos y abióticos, (Lambin et al., 2001; Farina, 2000), atribuyéndole la causalidad al proceso de deforestación.

Un factor adicional desde una perspectiva socioeconómica, es el crecimiento poblacional; una amenaza para la cubierta vegetal, ya que representa el riesgo a ser deforestado en función a las demandas sociales, asociándose a un término que Rautner y Leggett (2013) conciben como “*comodities*”. Término al cual se asignan aquellos productos que la sociedad demanda, por ejemplo papel, alimento, combustible, madera, entre otros.

2.6. Cambio de cubierta y uso de suelo (CCUS).

De acuerdo con Farfán (2015), en la dinámica de cambio de cubierta/uso del suelo (CCUS) los elementos condicionantes o variables no actúa en forma aislada, es decir, todo funciona como un sistema dependiente y sinérgico, por tanto, si existe la disminución de cubierta vegetal, esto indica una perturbación en el ecosistema. Manson (2006) define al CCUS como “el conjunto de actividades humanas que impactan las características de la superficie de la Tierra a través de diversos sistemas de aprovechamiento de los recursos naturales”. De esta manera el estudio de la dinámica CCUS ha surgido de observar cómo y de qué forma los procesos antrópicos a nivel local y regional de la superficie terrestre impactan en el ambiente a nivel de las cubiertas forestales. Estos estudios van más allá de conocer el pasado a través de la implementación de nuevas tecnologías para su estudio y evaluación, hoy día la modelación de distintas variables permite inferir el comportamiento que la dinámica CCUS tendría en un lapso de tiempo a partir de las tendencias actuales de los usos que presenta.

2.7. Los sistemas de información geográfica (SIG) y percepción remota.

Son diversas áreas de las ciencias en que los SIG se presentan como herramientas indispensables para realizar análisis del territorio, este último pone énfasis en temas como son: el mantenimiento, cartografía y control de grandes infraestructuras; el control y gestión de datos catastrales; la gestión urbana y municipal; las tareas de planificación urbana, el Ordenación del territorio y la Planificación ambiental y la Geodemografía (Bosque y García, 2000).

2.7.1. ¿Qué es un SIG?

Un SIG (Sistemas de Información Geográfica) de acuerdo con Olaya (2011), es un conjunto de herramientas organizadas e integradas en un software, hardware, datos, y recursos humanos, diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y generar todo tipo de información geográficamente referenciada con el propósito de convertir datos en información apta para la toma de decisiones. Además, el elemento esencial de un SIG es la capacidad analítica donde las aplicaciones más frecuentes han sido en temas tales como modelamiento hidrológico (predicción del gasto, cálculo de probabilidad de avenidas), estimación del balance hídrico, análisis integrado, planes de manejo de cuencas, y definición de zonas prioritarias para la conservación del recurso (Cotler, 2004).

Las principales ventajas de un SIG en relación con otros sistemas no digitales residen en la capacidad de almacenamiento de datos y capacidad de manejo de información, para la generación de la cartografía. . Por tanto, proporciona velocidad en la operación del sistema, gran capacidad para establecer una relación coherente entre datos espaciales y sus atributos, así como para manipularlos simultáneamente, y una amplia capacidad de análisis e implementación de modelos que representen a la realidad (Rosete y Bocco, 2003).

2.7.2. Percepción remota.

Los estudios de la superficie de la tierra utilizando técnicas de percepción remota suponen el registro de la radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre mediante sensores a larga distancia (Rosete y Bocco, 2003), entre los sensores más comunes se encuentran las cámaras fotográficas, las

cámaras de video y los satélites especializados. Es importante conocer la serie de procesos que conlleva adquirir una imagen, la cual manejamos para procesar y manejar la información. Un proceso de teledetección consiste en lo siguiente, (Labrador et.al., 2012).

- Disponer de una fuente de energía que ilumine o provea energía al objeto de interés (cultivo, bosque, mar, ciudad, etc.). El caso más habitual consiste en que esa fuente sea el Sol.
- Una vez alcanza la superficie terrestre interactúa con los objetos que en ella se encuentran. La radiación reflejada dependerá de las características de esos objetos, permitiendo distinguir a unos de otros
- Un sensor a bordo de un satélite recoge y graba esa radiación reflejada por la superficie terrestre y la propia atmósfera.
- La energía captada por el sensor se transmite a una estación de recepción y procesamiento donde los datos se convierten en imágenes digitales.
- La imagen procesada se interpreta, visualmente y/o digitalmente, para extraer información acerca de los objetos que fueron iluminados.
- El paso final del proceso de teledetección consiste en aplicar la información extraída de la imagen para conseguir un mejor conocimiento de la zona de estudio, revelando nuevas informaciones o ayudándonos a resolver un problema particular.

Cuando se habla de percepción remota tenemos que existen cuatro tipos de resolución en la obtención de las imágenes: (Rosete y Bocco, 2003).

- Resolución espacial: Se refiere al objeto más pequeño que puede distinguirse como unidad independiente y es representada por el tamaño de un pixel (celda).
- Resolución espectral: Es el ancho del espectro electromagnético medido y el número de canales empleados, es decir, el número y ancho de las bandas espectrales registradas por el sensor.
- Resolución radiométrica: es la sensibilidad del sensor para diferenciar una señal, es decir, qué partes del espectro electromagnético registra, su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe.
- Resolución temporal: es el lapso mínimo comprendido entre la toma de dos imágenes de una misma zona, esto es, la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes del mismo punto de la superficie terrestre.

2.8. Modelación y simulación.

La modelación de los CCUS, toma en cuenta características específicas del paisaje ya sea a una escala local o regional para simular los cambios en la configuración del paisaje. Sin embargo, las aproximaciones basadas en el análisis de información a través de los sistemas de información geográfica y técnicas de percepción remota deben ser complementadas por las aportaciones de otras disciplinas que consideran aspectos sociales, económicos y culturales que no se expresan de manera espacialmente explícita (Ramírez et al., 2011). Llevar a cabo este proceso, implica tener en cuenta un enfoque que permita realizar un análisis espacial de las situaciones y acciones que se llevan a cabo dentro de la zona de estudio, haciendo una evaluación de las relaciones que tienen las variables en la transformación de la

cubierta vegetal (Farfán, 2015). En términos concretos, Hernández (2005), propone que un modelo de esta naturaleza se conforma por una variable de respuesta (zonas potenciales a sufrir cambios a futuro), los controladores del proceso o variables independientes que determinan los frentes de explotación como la frontera agropecuaria, extracción ilegal, tala controlada, así como la intensidad de estos frentes, y el componente aleatorio o de incertidumbre que acompaña a cualquier modelo CCUS.

Bajo esta perspectiva, llevar a cabo el proceso de simulación, implica identificar factores y variables que tienen alguna relación con los cambios de uso del suelo, además es necesario “considerar las cubiertas como un conjunto de estados discretos en donde los cambios son definidos como transiciones que ocurren en una malla o matriz de celdas” (Walker, 2004). La simulación de escenarios de deforestación tiene consigo un conocimiento del pasado y un entendimiento del presente, lo que hace posible estimar el comportamiento a las áreas con potencial de sufrir cambios tanto cualitativos como cuantitativos en la cubierta vegetal. Esto es posible teniendo en cuenta que la deforestación es un fenómeno complejo que depende de “factores relacionados con las actividades humanas y de la aptitud del territorio, como pueden ser la altitud, pendiente, distancia a las vías de comunicación y el tipo de vegetación forestal” (Mas et al., 1996).

2.9. Modelación con DINÁMICA EGO.

DINAMICA EGO, es un programa basado en autómatas celulares capaz de modelar dinámicas de cambio de cubiertas y usos del suelo, el cual ha sido aplicado en estudios de deforestación tropical a diversas escalas. Está basado en los pesos de evidencia para ponderar la influencia de distintas variables biofísicas y socioeconómicas como factores de transformación de las cubiertas y usos de suelo (CCUS) (Soares-Filho et al., 2002; Soares-Filho et al., 2006; Cuevas & Mas, 2008; Texeira et al., 2009. Citados en Farfán, 2015).

Los autómatas celulares constituyen un modelo matemático de un sistema espacial dinámico que evoluciona en pasos de tiempo discretos. Consiste en un arreglo con disposición regular de celdas n -dimensional que interactúan entre sí dentro de una cierta vecindad, de acuerdo a un conjunto de reglas de transición. Así, en el modelo del autómata celular, el estado de cada celda en el arreglo depende de los estados previos de las celdas dentro del vecindario, en el cual todas las celdas son actualizadas simultáneamente en pasos de tiempo discretos. El algoritmo usado para que las celdas interactúen entre sí localmente es conocido como regla local del autómata celular, el cual emplea funciones de transición especialmente diseñadas para reproducir las dimensiones y formas de los cambios en el paisaje (Almeida et al., 2005).

DINAMICA EGO considera los fenómenos CCUS enlazados a los procesos de cambio a través del tiempo, y ha sido implementado para diferentes estudios de deforestación (Soares -Filho *et al.*, 2002, 2004, 2006; Reyes *et al.*, 2009). Por lo que el modelo requiere de una organización y estructuración de base de datos cartográficos multi-temporal de tipo raster, con la información sobre el uso de suelo,

a partir de la cual se estiman las tasas de transición en las diferentes fechas (Leija-Loredo, 2013). La confiabilidad del uso y desarrollo de estos tipos de modelación se ha hecho cada vez mayor, puesto que permite al usuario utilizar distintas variables de acuerdo a sus necesidades de trabajo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La microcuenca La Unión, en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, experimenta cambios en la cubierta vegetal, debido a actividades principalmente antrópicas como son la apertura de nuevos caminos, la extensión territorial del sector agrícola, el crecimiento de los asentamientos humanos, y las actividades económicas locales, entre ellos la extracción de leña. Dichos factores ejercen una presión, sobre la vegetación que va en aumento debido a que existe una mayor demanda de recursos naturales. En referencia a la información del censo de INEGI 2000 y 2010, la población dentro de la microcuenca era de 13,368 y 16,080, habitantes respectivamente, por lo que ha tenido una tasa de crecimiento de 2% anual. Aunado a este crecimiento poblacional es posible la generación e incremento de actividades que modifiquen el uso de suelo, por ello surge la siguiente interrogante, ¿cuáles son los factores que promueven la transformación del uso de suelo, y de qué manera afectarán a la vegetación en 9 años?

4. ANTECEDENTES

La implementación de modelos predictivos de los CCUS ha sido desarrollada desde diferentes enfoques, siendo una de las partes más complejas el uso de factores ambientales que tienen relación con las mismas actividades económicas de tipo antrópicas, destacando la importancia y características de factores locales los cuales definen patrones de cambio en el uso del territorio.

Farfán (2015), hace referencia como un antecedente importante en el estudio de la dinámica de CCUS, al Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP) y la Dimensión Humana Internacional (IHDP) (IGBP Report 35–IHDP Report 7 1995); (IGBP Report 48–IHDP Report 10, 1999), el cual ha promovido la investigación enfocada en la estimación del cambio de cubierta y uso del suelo, de la comprensión de sus causas y del desarrollo de modelos espaciales prospectivos. El conocimiento desarrollado en este campo ha conformado lo que se conoce como la “Ciencia del cambio de la tierra” (Lambin & Geist, 2006; Turner, 2002; Gutman, et al., 2004).

Desde finales de la década de 1970 World Wildlife Fund (WWF, 2007) comenzó a publicar valores de la deforestación en México. Las estimaciones de la FAO desde los ochentas han sido bastante consistentes en un rango que varía entre 350 y 650 mil hectáreas por año (SARH 1992; Masera et al., 1992) citado en Céspedes (2010). La cuantificación o medición de la deforestación ha resultado ser muy compleja ya que las estimaciones realizadas hasta la fecha están influenciadas por múltiples conceptos, diversos objetivos y metodologías que no permiten su comparación, lo cual ha dado paso a variadas cifras cuyo rango de estimaciones es muy amplio y va desde 75 mil a casi 2 millones de hectáreas de pérdida de recurso

forestal por año (Lund et al., 2002). En un estudio realizado para el Programa de Adaptación ante el Cambio Climático en Chiapas (PACCCH, 2012), reportaron para el año 2005 una emisión de 27,776,150 toneladas de CO₂, siendo el principal sector el Uso de Suelo, el Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSS), con un 59% o 16,477,000 toneladas que provienen principalmente de la deforestación y degradación forestal para la transformación de las tierras en agricultura y pastizales para la ganadería.

El interés de conocer el comportamiento que la vegetación presenta a través del tiempo, principalmente por causas antropogénicas, ha permitido llevar a cabo diversos estudios enfocados a la modelación de la dinámica de la cubierta vegetal, por lo que a continuación se hacen mención algunos de estos.

En 2009, Castillo realizó un estudio en la cuantificación de la pérdida de la cubierta vegetal relacionada con la cantidad de biomasa y las emisiones de CO₂ en el municipio de Marqués de Comillas, Chiapas. La cubierta USV se obtuvo mediante la clasificación de imagen SPOT 5, realizando un análisis de diversidad de especies leñosas de los bosques maduros y secundarios, desarrollando un modelo de regresión lineal en las bandas espectrales para estimar la biomasa del bosque. A partir de imágenes históricas elaboró un modelo de cambios en la cubierta del suelo.

Mas y Flamenco (2011), realizaron la modelación de los cambios de cubierta/uso del suelo en una región tropical de México en el periodo de 1986 al 2008, usando el periodo de calibración 1986 al 2000. Además del uso de variables que permitieron establecer relaciones con la dinámica CCUS tales como: mapas de

cubierta/uso del suelo, modelo digital de elevación, pendiente, distancia a carreteras, distancia a poblaciones, distancia a rasgos hidrográficos, Área protegida, distancia a ciertos CCUS y tenencia de la tierra. Con la implementación del software DINAMICA EGO, permitió evaluar el modelo e identificar sus potenciales y limitaciones.

Leija-Loredo (2013), realizó un estudio que analizó la dinámica espacio-temporal de los cambios en la cubierta vegetal/uso del suelo, a través de modelar escenarios futuros de cambio en tres municipios de la Región costera del estado de Oaxaca, México. A través de la interpretación y análisis visual de imágenes de satélite, obteniendo 3 mapas de uso del terreno y vegetación no supervisados por cada municipio, para obtener un escenario de susceptibilidad al cambio actual y proyecciones de cambio potencial basado en la técnica de autómatas celulares mediante el programa DINÁMICA EGO.

Camacho-Sanabria (2014) mediante la construcción de un modelo espacialmente explicativo, desarrolla un modelado de la dinámica CCUS, bajo escenarios prospectivos, en el municipio de Amanalco de Becerra en el Estado de México. El proceso de modelado se realizó con la herramienta DINAMICA EGO, utilizando como insumos cartográficos los mapas de uso de suelo y vegetación de los años 1989, 1997 y 2009, algunas variables explicativas de proximidad físico-geográficas, ambientales y explotación de la tierra. Los CCUS se modelaron para el año 2020 bajo dos escenarios: tendencial y agropastoril.

Farfán (2015) realizó tres escenarios de deforestación en la reserva de la biosfera sierra de Manantlán entre Jalisco y Colima, bajo tres escenarios espaciales:

tendencial, conservador y minero; dicho escenario proyectado a 2018 integra variables biofísicas y socioeconómicas interpoladas bajo diferentes métodos a nivel de localidad. Obtuvo una relación importante de las variables distancia a caminos, densidad poblacional y pendiente, para los desmontes ocurridos en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán (RBSM), y que el desarrollo de infraestructura vial y la mina de hierro a cielo abierto son factores de perturbación que amenazan de manera importante el hábitat de los felinos.

5. JUSTIFICACIÓN.

En la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, existe una disminución de la cubierta vegetal ocasionada por las diferentes actividades antrópicas que se desarrollan dentro de la misma. Por tanto, la importancia de llevar a cabo el presente estudio tiene dos particularidades: primero, como una externalidad positiva, la microcuenca tiene un importante aporte del recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable al municipio de Tuxtla Gutiérrez; en segundo lugar como externalidad negativa, es proveedor de sedimentos y materia muerta al río. Por ende, el cambio de uso de suelo y pérdida de vegetación propicia cambios drásticos a través del tiempo modificando y disminuyendo la disponibilidad de ciertos recursos, por lo que en este trabajo, se pretende encontrar aquellos factores que dan origen a dicho proceso, asimismo simular la tendencia de la dinámica que tendrá la cubierta vegetal, en los próximos 9 años.

6. HIPÓTESIS

Si las tendencias en el proceso de deforestación se mantienen a los observados en el periodo 2005-2011, para el año 2025, se habrán perdido los remanentes de selva baja caducifolia.

7. OBJETIVOS.

7.1. Objetivo general.

Desarrollar un escenario tendencial de la dinámica de cambio de cubierta/uso del suelo al año 2025 a partir de la dinámica de cambio observada en el periodo de calibración 2005 al 2011, con la implementación del programa de modelación ambiental DINAMICA EGO en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

7.2. Objetivos particulares.

- Calcular las matrices de transición para el periodo 2005 al 2011, periodo de calibración.
- Determinar y definir variables que influyen en el proceso de deforestación.
- Simular al año 2025 la dinámica de cambio de la cubierta vegetal empleando el programa de modelación ambiental DINAMICA EGO.

8. MATERIALES Y MÉTODOS.

8.1. Área de estudio

La microcuenca La Unión se localiza en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, ocupa una extensión territorial de 238.75 km², limita al este con el municipio de Acala, al oeste con los municipios de Suchiapa y Villaflores, y al sur con el municipio de El Parral (Figura 1). La microcuenca tiene una altitud que va de los 370 a los 1140 msnm. Bajo la caracterización hecha con base a los datos de conjuntos vectoriales del INEGI 2005, cuenta con un basamento litológico de rocas sedimentarias, donde predominan el tipo de roca lutita-arenisca (39.61 %), además de la presencia de Caliza (30.89 %), caliza lutita (17.31 %) y limolita arenisca (12.17 %). Además, los tipos de suelo presentes son, Regosol (43.43 %), Litosol (26.82 %), Fluvisol (10.53 %), Feozem (9.69 %), Rendzina (7.99 %) y Luvisol (1.004 %), (INEGI, 2006). El clima que predomina es muy general puesto que el 99.74 % es de tipo Cálido Subhúmedo y 0.26 % Semicálido Subhúmedo.

Con respecto al INEGI en 2014, con base a la Serie V de la capa de uso de suelo y vegetación, el territorio está cubierto por agricultura de temporal anual (24.69 %), agricultura de riego anual y semipermanente (16.33 %), vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (12.85 %), pastizal cultivado (10.05 %), vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia (9.07 %), agricultura de temporal anual y permanente (5.51 %), sabana (5.38 %), pastizal inducido (5.33 %), vegetación secundaria herbácea de selva baja caducifolia (3.95 %), bosque de encino (2.86 %), desprovisto de vegetación (0.89 %), zona urbana (0.51 %)

asentamientos humanos (0.49 %), vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino (0.18 %), y agricultura de riego anual y permanente (0.03 %).

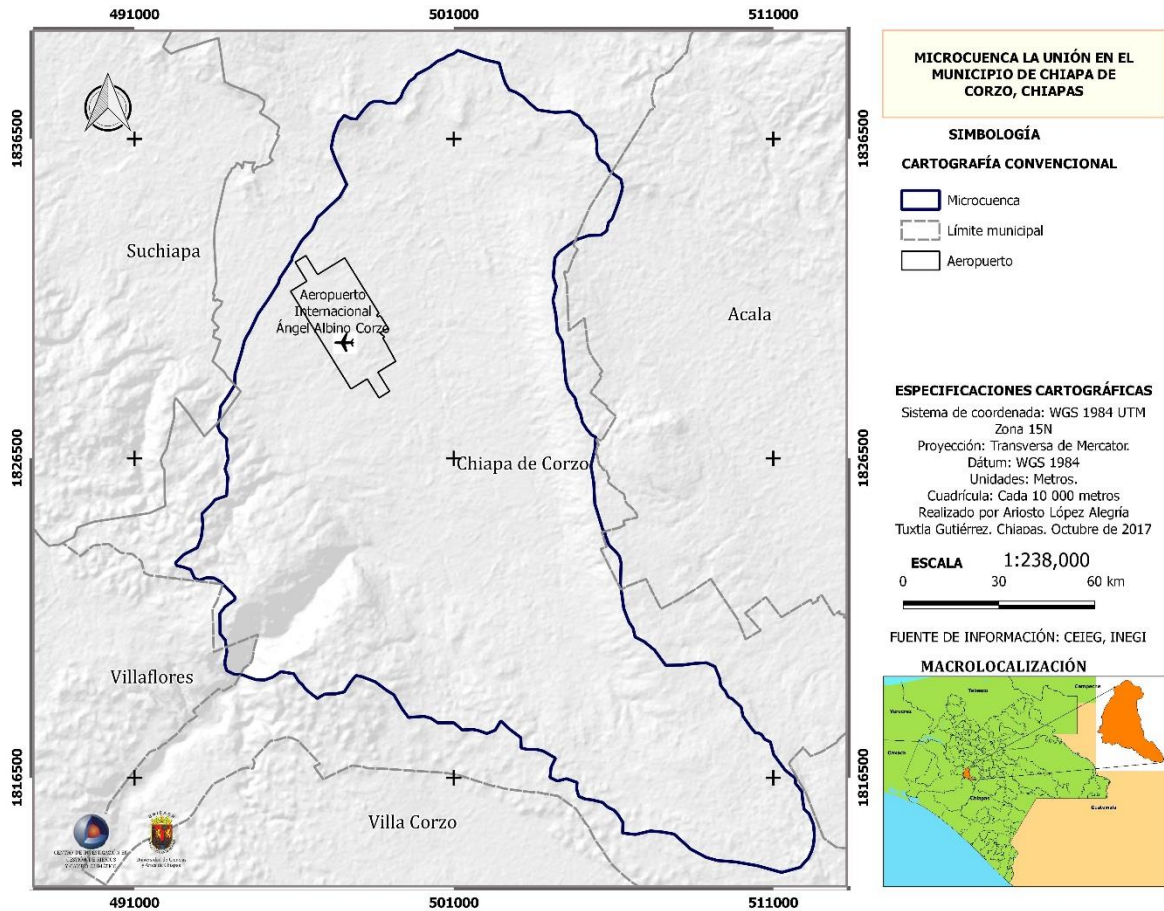


Figura 1. Localización de la Microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

Hidrología.

El 18 de mayo de 1998 fue publicado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) y actualizados el 13 de octubre de 2000 las 13 regiones hidrológico-administrativas en la que México se divide para su manejo. El estado de Chiapas pertenece a la Región Hidrológica Administrativa número XI Frontera Sur, constituida por las regiones hidrológicas 30 Grijalva-Usumacinta y 23 Costa de Chiapas (CONAGUA, 2015). La microcuenca La Unión, forma parte de la subcuenca R. Santo Domingo, misma que complementa a la cuenca R. Grijalva-Tuxtla Gutiérrez en la Región hidrológica 30 Grijalva-Usumacinta. En la microcuenca convergen dos ríos principales más importantes para la microcuenca, Santo Domingo y Suchiapa (SIATL, CEIEG, 2015) (Figura 2).

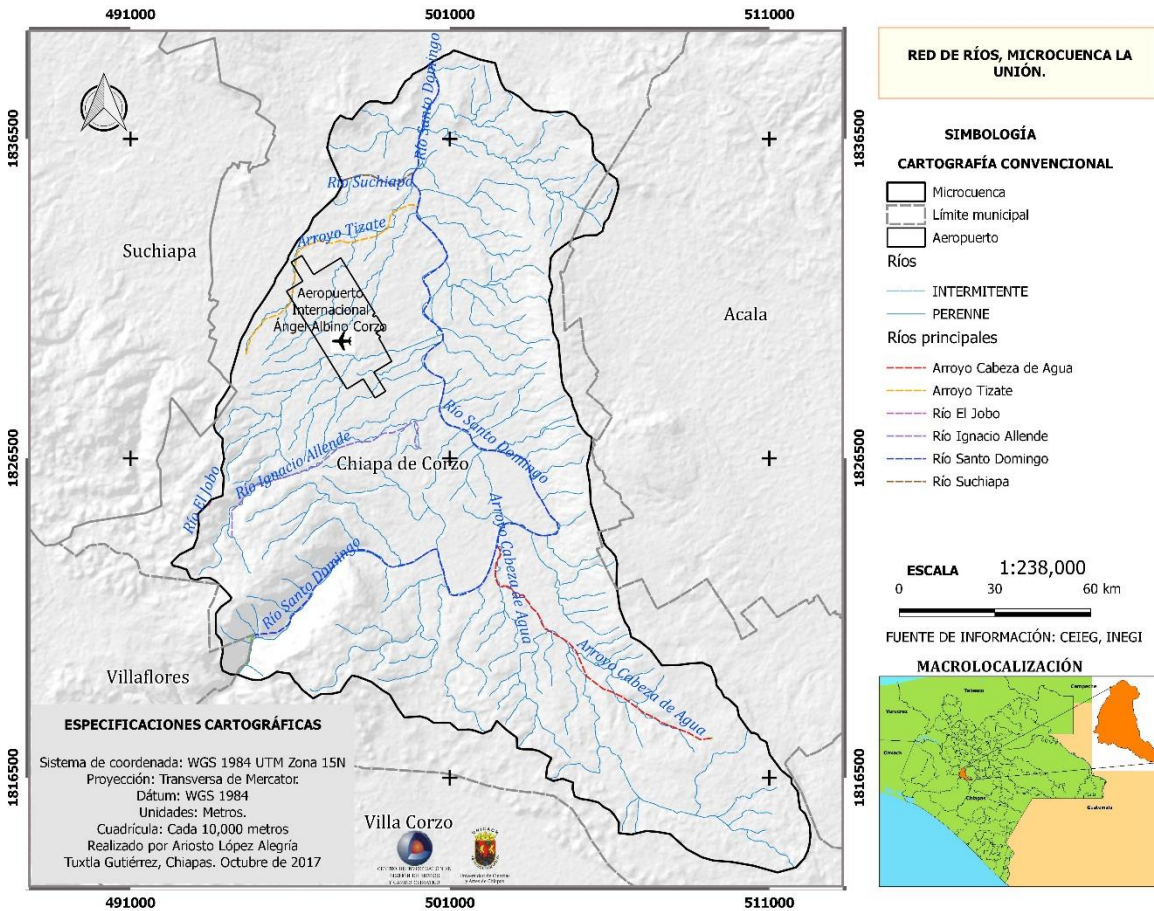


Figura 2. Mapa hidrológico, en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

Red de caminos y carreteras.

Las principales vías de comunicación terrestre corresponden a la red de caminos y carreteras del estado, 43.10 km de administración estatal y 8.42 km federal, de las cuales 51.52 km son pavimentadas, 10.09 km terracerías y, 435.92 km entre brechas y veredas (Figura 3).

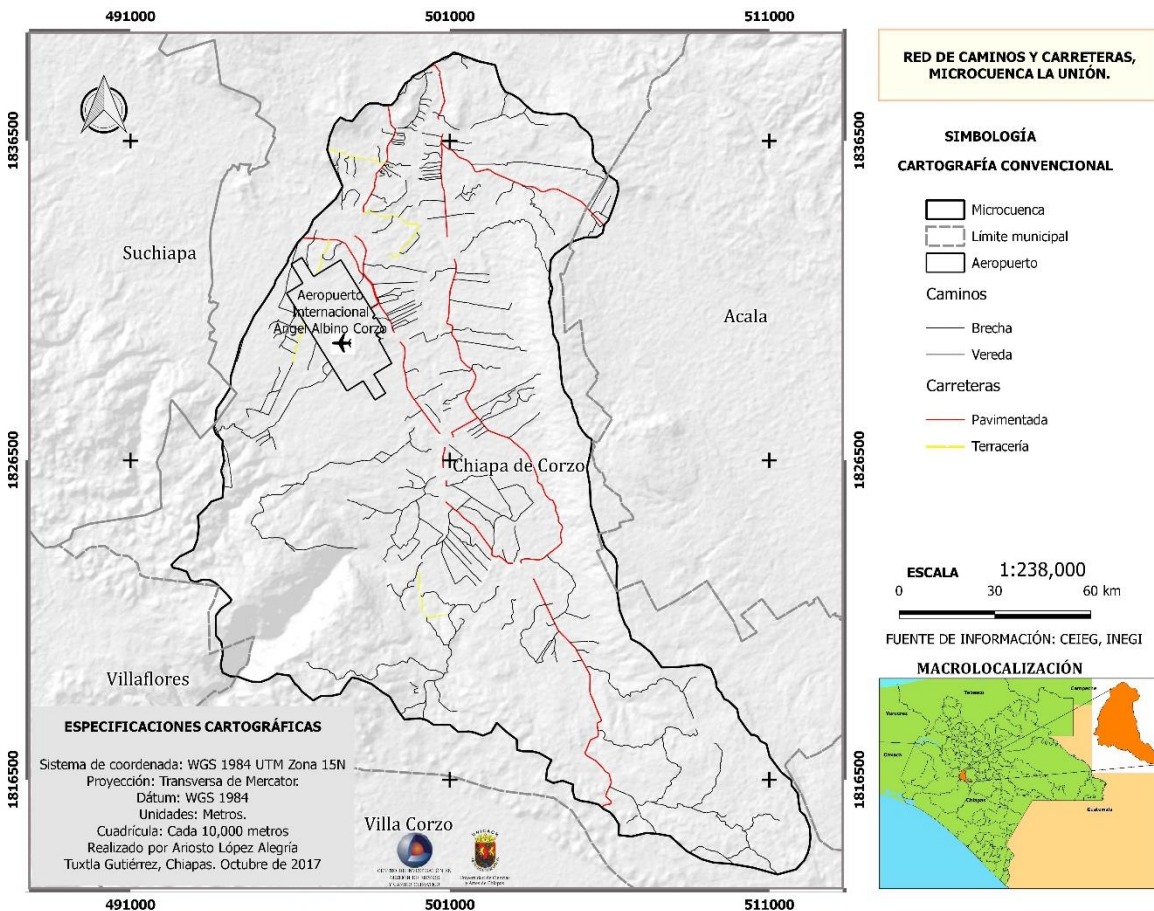


Figura 3. Mapa de red de caminos en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

Aspectos socio-económicos.

En términos de población, con base al INEGI (2010), el municipio de Chiapa de Corzo, cuenta con un total de 284 localidades, con una población total de 87,603 habitantes. La microcuenca La Unión alberga un total de 148 localidades, con una población total de 13,660 habitantes, representando el 15.59 % del municipio, de las cuales 9 localidades presentan una población superior a los 500 habitantes (Figura 4).

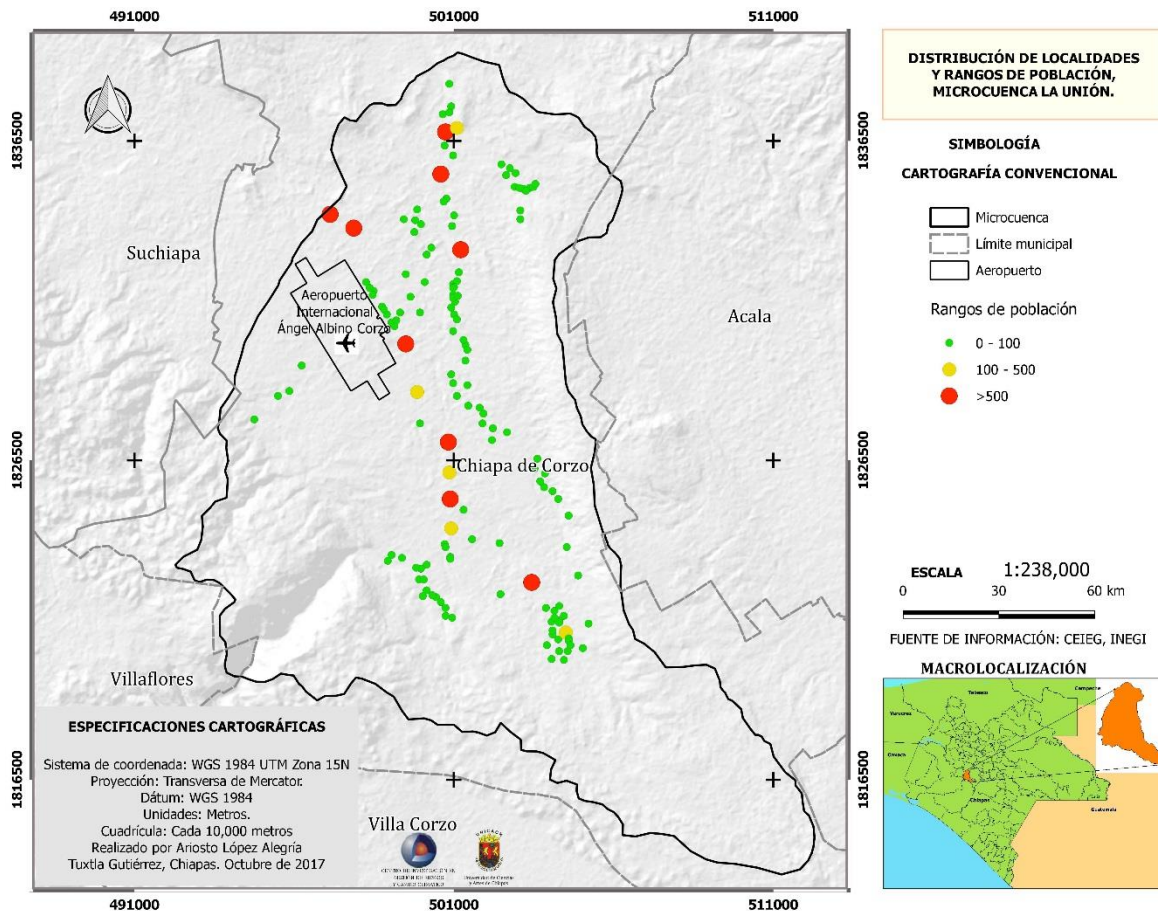


Figura 4. Mapa de distribución de localidades, en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

Respecto a las actividades que se llevan a cabo en el municipio de Chiapa de Corzo, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2015) hace referencia a los tipos de cultivos que se destinan en el territorio. Asimismo el Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria (SCIGA) ofrece información del Censo Agropecuario del año 2007, mismo que indica los tipos de cultivos y algunas actividades llevadas a cabo dentro de la microcuenca (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipos de cultivos en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas y la microcuenca La Unión.

Tipos de cultivos y actividades en la microcuenca (SCIGA, 2007)	Tipos de cultivo a nivel municipio (SIAP, 2015)
Cultivo de maíz grano temporal y de riego	Cultivo de maíz grano temporal y de riego
explotación de bovinos para la producción de carne, leche y otros propósitos	Cultivo de ciruela
Cultivo de sorgo forrajero	Cultivo de sorgo grano
explotación de porcinos en granja y traspatio	Cultivo de mango
Cultivo de mango, cebolla, limón	Cultivo de papaya
explotación de ovinos para otros propósitos	Cultivo de guayaba
Cultivo de cebolla	Cultivo de cebolla
Cultivo de pastos y zacates	
Cultivo de otros frutales no cítricos y de nueces	Cultivo de café cereza
Cultivo de cacahuete	
Cultivo de melón o sandía	Cultivo de café cereza
Apicultura	
Cultivo de cebolla	Cultivo de limón
Tala de árboles y actividades agrícola combinadas con aprovechamiento forestal.	
Cultivo de tomate rojo (jitomate)	Cultivo de tomate rojo (jitomate)

8.2 Método

8.2.1. Materiales

Para desarrollar el modelo de deforestación se emplearon 3 capas de uso de suelo y vegetación (USV) de tres fechas diferentes 2005, 2011 (De Coss, 2017) y 2016 con el uso de la imagen de satélite Sentinel 2a.

La fuente de las variables ambientales promotoras del cambio para el modelo fue la plataforma del CEIEG (2010) e INEGI (2015). Las variables fueron: carreteras (terracerías y pavimentadas), caminos y localidades. Adicionalmente, el modelo digital de elevación (MDE) se descargó usando el software Global mapper. A partir del MDE se generó mapa de pendientes. Finalmente, la capa de asentamientos humanos se obtuvo de la cartografía de vegetación y uso del suelo 2011 (De Coss, 2017).

8.2.2. Generación de cartografía

De Coss en 2017 elaboró las capas USV 2005 y 2011 a escala 1: 20 000. A partir de la cartografía de 2011 empleando el método de clasificación interdependiente de la FAO (FAO, 1996) se actualizó para el año 2016. Dicho método consiste en actualizar la interpretación de una fecha anterior con la imagen de la fecha siguiente, lo que permite obtener una serie temporal cartográfica más congruente ya que ayuda a reducir los errores más comunes que llevan a la detección de falsos cambios. Para la elaboración de la capa USV 2016 se empleó la imagen de satélite del sensor Sentinel 2a de la plataforma de la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés), con resolución espectral de 13 bandas (4 con resolución

espacial de 10 metros, 6 de 20 metros y 3 de 60 metros). Para la actualización de la capa USV 2016, únicamente se necesitó las bandas con resolución espacial de 10 metros que corresponden a la región del visible e infrarrojo cercano (bandas 2, 3, 4 y 8), construyendo compuestos de bandas 8, 4, 3 que corresponden al falso color infrarrojo y 4, 3, 2 (color natural).

Las capas USV, fueron clasificada en 13 clases, sin embargo, para llevar a efecto la modelación en el presente trabajo, fue necesario unificar las cubiertas naturales principalmente las vegetaciones de selva baja y vegetación de selva mediana, quedando como vegetación de selva baja caducifolia y vegetación de selva mediana caducifolia, respectivamente (Cuadro 1).

Cuadro 2. Clases utilizadas para la clasificación de los usos de suelo y vegetación

Clase	Clave	Clase	Clave
Agricultura de riego	AGR	Agricultura de riego	AGR
Agricultura de temporal	AGT	Agricultura de temporal	AGT
Asentamientos humanos	AH	Asentamientos humanos	AH
Cuerpo de agua	CA	Cuerpo de agua	CA
Desprovisto de vegetación	DV	Desprovisto de vegetación	DV
Áreas Inundables	AI	Áreas Inundables	AI
Infraestructura	I	Infraestructura	I
Pastizal inducido	PI	Pastizal inducido	PI
Vegetación primaria de selva baja	VPSB	Vegetación de selva baja caducifolia	VSBC
Vegetación secundaria de selva baja	VSSB		
Vegetación primaria de selva mediana	VPSM	Vegetación mediana caducifolia	VSMC
Vegetación secundaria de selva mediana	VSSM		
Vegetación riparia	VR	Vegetación riparia	VR

8.2.3. Tasas de cambio y matrices de transición

Se llevaron a cabo las intersecciones entre la cartografía de 2005 y 2011, así como 2011 y 2016. A partir de los resultados obtenidos se generaron las matrices de transición para identificar los procesos de cambio en las cubiertas, la cual describe los cambios de un sistema a través de períodos discretos de tiempo, en los cuales el valor de cualquier variable en un período dado es la suma de porcentajes fijos del valor de las variables en el periodo previo (Rodrigues et al., 2007). Las matrices de cambio con las que trabaja DINAMICA EGO pueden ser simples o múltiples. Las matrices de cambio simples están referidas a tasas de transición para un determinado período de tiempo (por ejemplo 12 años), mientras que las matrices de cambio múltiples, se refieren a tasas anuales de cambio (Espinoza, 2016). Por otra parte, se calcularon, para los dos periodos de análisis (2005-2011, 2011-2016), las tasas de cambio (TC) utilizando la ecuación 1 propuesta por FAO (1996) y se multiplicó por 100:

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

Donde t= tasa de cambio, S₁=superficie de la fecha 1, S₂=superficie de la fecha 2, n = número de años entre las dos fechas. El valor positivo de TC indica ganancia de superficie, mientras que un valor negativo indica pérdida.

8.2.4. Identificación de las variables ambientales asociadas a la deforestación

Se llevó a cabo la selección de las variables que fueron consideradas como promotoras de cambio en la cubierta forestal, las cuales fueron: densidad de población, distancia euclidiana a la red de caminos y carreteras, distancia a los asentamientos humanos, distancias ciertos usos de suelo (AGR, AGT y PI). Los datos de estas variables fueron valores continuos, además de insumos como el mapa de altitud y de pendientes (Cuadro 3). Para incorporar dichas variables en el programa DINAMICA EGO, fueron transformadas al formato raster, con una resolución de 15 metros (Figura 5).

Cuadro 3. Variables ambientales empleadas para analizar su relación con la deforestación en el periodo 2005-2011.

Variable	Abreviatura	Significado de la variables	Fuente
Altitud	Altitud	Representa la aptitud del terreno.	ASTER GDEM
Pendiente	Pendiente		Producto del Modelo digital de elevación
Caminos y carretera	Caminos	Representa la accesibilidad al territorio.	INEGI, 2015.
Distancia a los asentamientos humano	AH		Producto de la clasificación de la capa uso de suelo y vegetación 2011.
Densidad poblacional	Dens_pob	Representa la presión demográfica.	CEIEG, 2010
Distancia a la agricultura de temporal y de riego	Dagt y Dagr	Representa las superficies destinadas a las agriculturas.	Producto de la clasificación de la capa uso de suelo y vegetación 2011.
Distancia a pastizal inducido	DPi	Representa las superficies que son destinadas para el ganado.	

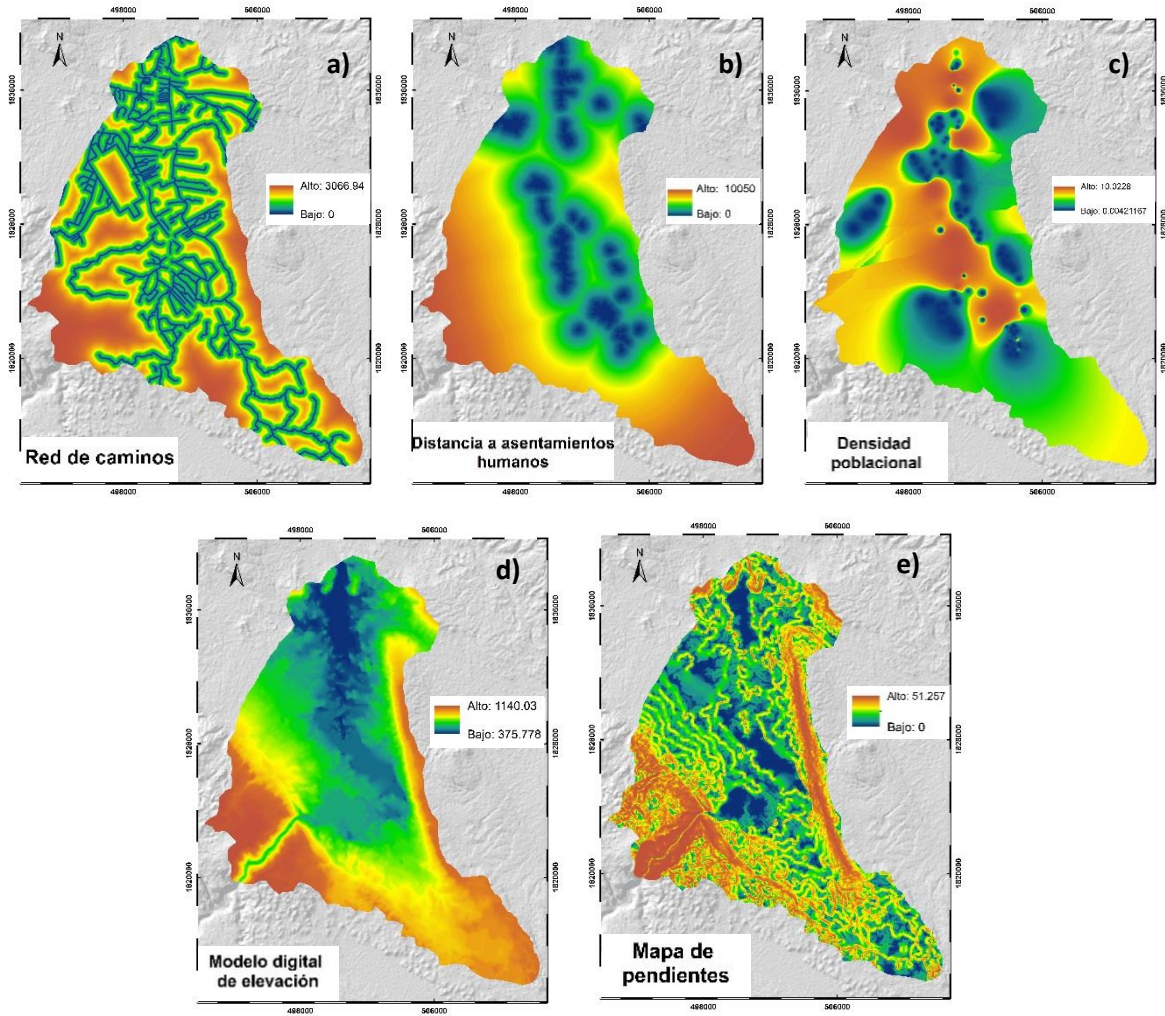


Figura 5. Algunas de las variables ambientales usadas en el modelo de deforestación

8.2.5. Modelación de la deforestación y del escenario tendencial

La modelación de la probabilidad de deforestación y del escenario tendencial se llevó a cabo en el programa DINAMICA EGO, desarrollado en la Universidad Federal de Minas Gerais en Brasil (Soares-Filho *et al.* 2002; Soares-Filho *et al.*, 2009), el cual ha sido aplicado en estudios de modelado de procesos de deforestación tropical y crecimiento urbano (Castillo, 2009; Ramírez, 2011; Mas y Flamenco, 2011). Es flexible y permite el desarrollo de modelos sofisticados de CCUS y desarrollo de escenarios futuros de cambio (Rodrigues *et al.*, 2007). Se

consideró el periodo 2005 al 2011 como periodo de calibración, para posteriormente evaluar con el mapa real observado de la fecha 2016, y proyectar el escenario tendencial de deforestación al año 2025.

La modelación del escenario tendencial de la dinámica CCUS, se compone de tres etapas: calibración del modelo, simulación y evaluación (Mas y Flamenco, 2011) (Figura 6).

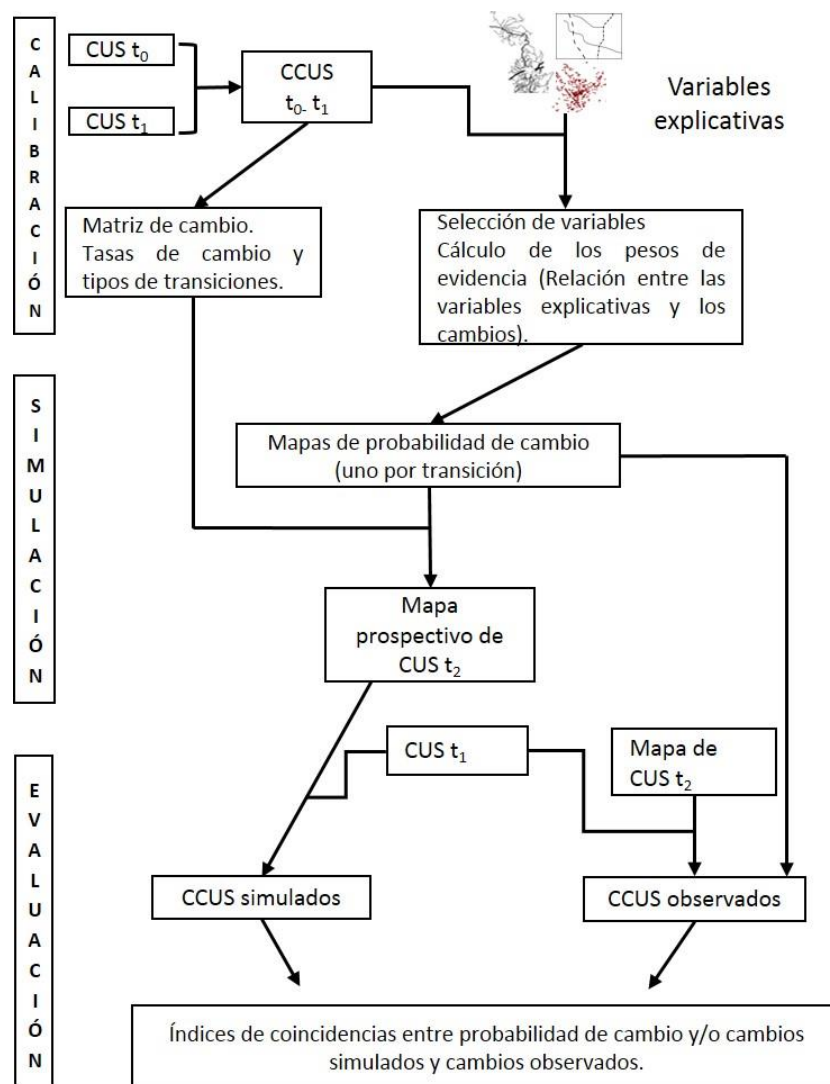


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de modelación, tomada de Mas y Flamenco (2011).

8.2.5.1. Etapa de calibración: cálculo de la matriz anual y de los pesos de evidencia

Para llevar a cabo esta etapa de la modelación se utilizan los mapas de cubierta y uso del suelo para las dos primeras fechas, en este caso 2005-2011. DINAMICA EGO calcula directamente dos matrices de probabilidad de cambio, una para todo el período de análisis (en el caso de este trabajo 6 años) y otra que calcula las tasas de probabilidad de transición anualizada obteniendo la cantidad en superficie y el tipo de transiciones presentes, mediante la siguiente ecuación 2:

$$P^t = H V^t H^{-1} \text{-----Ecuación 2.}$$

Donde P es la matriz de probabilidad transición original, H es la matriz de vectores propios (*eigenvector*), V es la matriz de valores propios (*eigenvalue*), y t es el número de años del período correspondiente a la matriz original

La determinación de los patrones de asociación entre la ocurrencia de los cambios y las variables explicativas se establece mediante el método de pesos de evidencia (Bonham Carter, 1994). La obtención de los pesos de evidencia de las variables permitió definir la influencia de las variables para que ocurra el cambio de cubierta forestal a algún uso del suelo. El método de los pesos de evidencia se basa en las probabilidades condicionales. Se llama probabilidad condicional a la probabilidad de que un suceso se cumpla habiéndose cumplido ya otro, donde un valor positivo, mayor a cero, indica que la variable sí está teniendo presencia en la deforestación, caso contrario, un valor menor a cero indica que no tiene efecto para que ocurra el cambio.

Para obtener el supuesto de independencia condicional entre las variables ambientales, se calculó el coeficiente de Cramer. Este coeficiente varía entre cero y uno, donde cero indica variables totalmente independientes y uno totalmente correlacionadas. Si el índice es mayor 0.45 indica que hay duplicidad de información en las variables por lo que una de ellas debe descartarse.

8.2.5.2. Etapa de simulación

Una vez generado el mapa de probabilidad de deforestación se realizó la simulación de los cambios al año 2016. Para ello, DINAMICA EGO utiliza dos autómatas celulares que permiten reproducir patrones espaciales de cambios: los autómatas celulares denominados *expand* y *patcher* se componen de un mecanismo de asignación responsable de la identificación de celdas con mayores probabilidades de cambios. El *expand* se dedica a expandir o contraer parches de una clase de cubierta de suelo ya existente, mientras que el *patcher* está diseñado para generar o formar nuevos parches de una cubierta de suelo través de un mecanismo “semilla”. Para el presente trabajo, al correr la simulación, se pudo reflejar una mejor aproximación al mapa observado del año 2016 , con el uso únicamente del autómata *expand*, por lo que la simulación está basada en la expansión de parches de los usos de suelo que han propiciado la deforestación de las cubiertas.

8.2.5.3 Etapa de evaluación.

Con base en la simulación del modelo al año 2016, se llevó a cabo la validación del mapa simulado con el mapa real observado del mismo año. Esta validación utiliza índices de similitud difusa, los cuales permiten comparar los mapas de cambio de uso de suelo simulado y observado, tomando en cuenta la coincidencia espacial bajo distintos niveles de tolerancia (diversos tamaños de ventana o píxeles). Estos índices se enfocan en las áreas de cambio teniendo en cuenta no solo la clasificación de un píxel, sino del vecindario (píxeles vecinos) en el que se encuentra (Mas *et al.*, 2011; González *et al.*, 2014).

9. RESULTADOS

9.1 Procesos de cambio de los tipos vegetación y usos del suelo 2005-2016

Los procesos de cambio que han predominado en la microcuenca La Unión es principalmente la deforestación de la selva baja caducifolia destinada a áreas agropecuarias, tales como la agricultura de riego, de temporal y pastizal inducido (Figura 7).

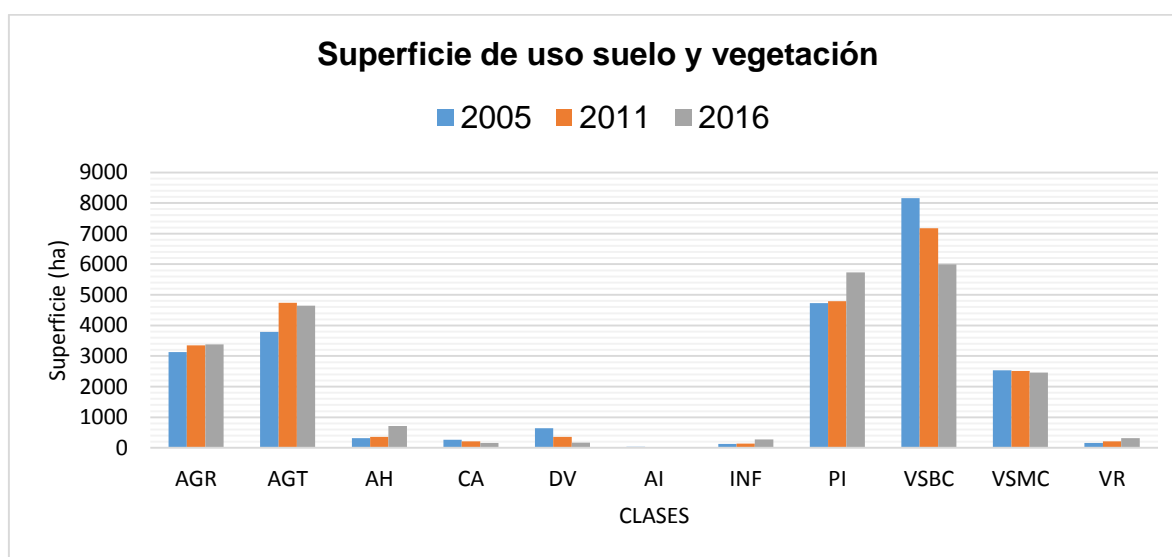


Figura 7. Gráfico de las superficies que presentan los usos de suelo y vegetación, en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Clases: agricultura de riego (AGR), agricultura de temporal (AGT), asentamientos humanos (AH), cuerpos de agua (CA), desprovisto de vegetación (DV), áreas inundables (AI), infraestructuras (INF), pastizal inducido (PI), vegetación de selva baja caducifolia (VSBC), vegetación de selva mediana (VSMC) y vegetación riparia (VR).

Para el año 2005, la microcuenca presentaba un total de 10,691 ha de cubiertas forestales distribuidas a lo largo del área de estudio, lo que representa el 44.8 % de la superficie total de la microcuenca. De esta 8,161 ha (34.2 %) correspondían a VSBC y 2,530 ha (10.6 %) a VSMC. Para el año 2011 la cubierta disminuyó 996 ha (9.3 %), de las cuales 979 ha (98.3 %) correspondieron a VSBC

y 17 ha (1.7 %) a selva mediana caducifolia. En contraparte la agricultura de riego y de temporal crecieron en 217 ha (0.9 %) y 952 ha (4 %) respectivamente. El pastizal inducido para este periodo mostró un crecimiento de tan solo 61 ha (0.2 %).

Para el año 2016, la cubierta forestal era de 8,452 ha (35.4 % de la superficie total de la microcuenca), de las cuales 5,992 ha (25.1 %) eran de selva baja caducifolia y 2,460 ha (10.3 %) de VSMC, con una reducción de 1,243 ha (12.9 %). La AGR aumentó 32 ha (0.1 %), mientras que la AGT disminuyó 94 ha (0.4 %), el PI aumentó en 942 ha (4 %) con respecto al año 2011. De igual forma, los AH que en 2011 era de 363 ha (1.5 %), en 2016 pasó a 715 ha (3 %) (Cuadro 4), en las figuras 8,9 y 10 se presentan los mapas USV 2005, 2011 y 2016 respectivamente.

Cuadro 4. Evolución de los cambios totales en superficie (ha) por cubierta y uso de suelo de 2005 al 2016 para la microcuenca La Unión en el Municipio Chiapa de Corzo, Chiapas.

Uso de suelo y vegetación/Año	2005	2011	2016	Hectáreas totales
Agricultura de riego	3,129.6	3,346.2	3,378.6	249.0
Agricultura de temporal	3,790.5	4,742.8	4,648.6	858.0
Asentamientos humanos	317.3	363.1	714.6	397.3
Cuerpo de agua	267.6	215.5	164.4	-103.2
Desprovisto de vegetación	636.4	359.5	175.4	-461.0
Áreas inundables	30.6	19.9	20.1	-10.5
Infraestructura	125.5	134.5	276.0	150.6
Pastizal inducido	4,728.9	4,789.4	5,731.6	1,002.7
Vegetación de selva baja caducifolia	8,160.6	7,181.6	5,992.5	-2,168.2
Vegetación de selva mediana caducifolia	2,530.3	2,513.2	2,459.7	-70.5
Vegetación riparia	158.6	210.1	314.4	155.8

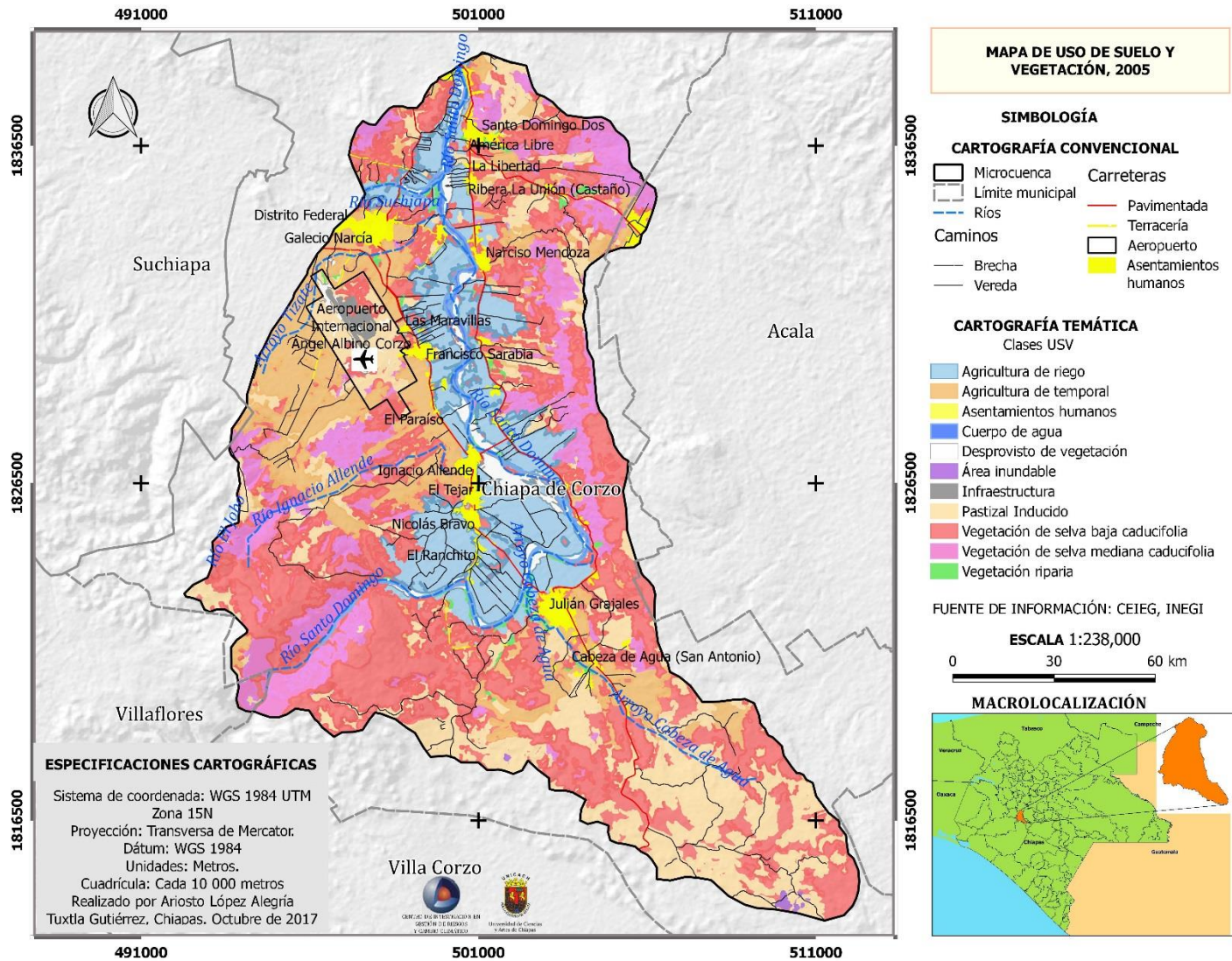


Figura 8. Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2005, en la microcuenca La unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

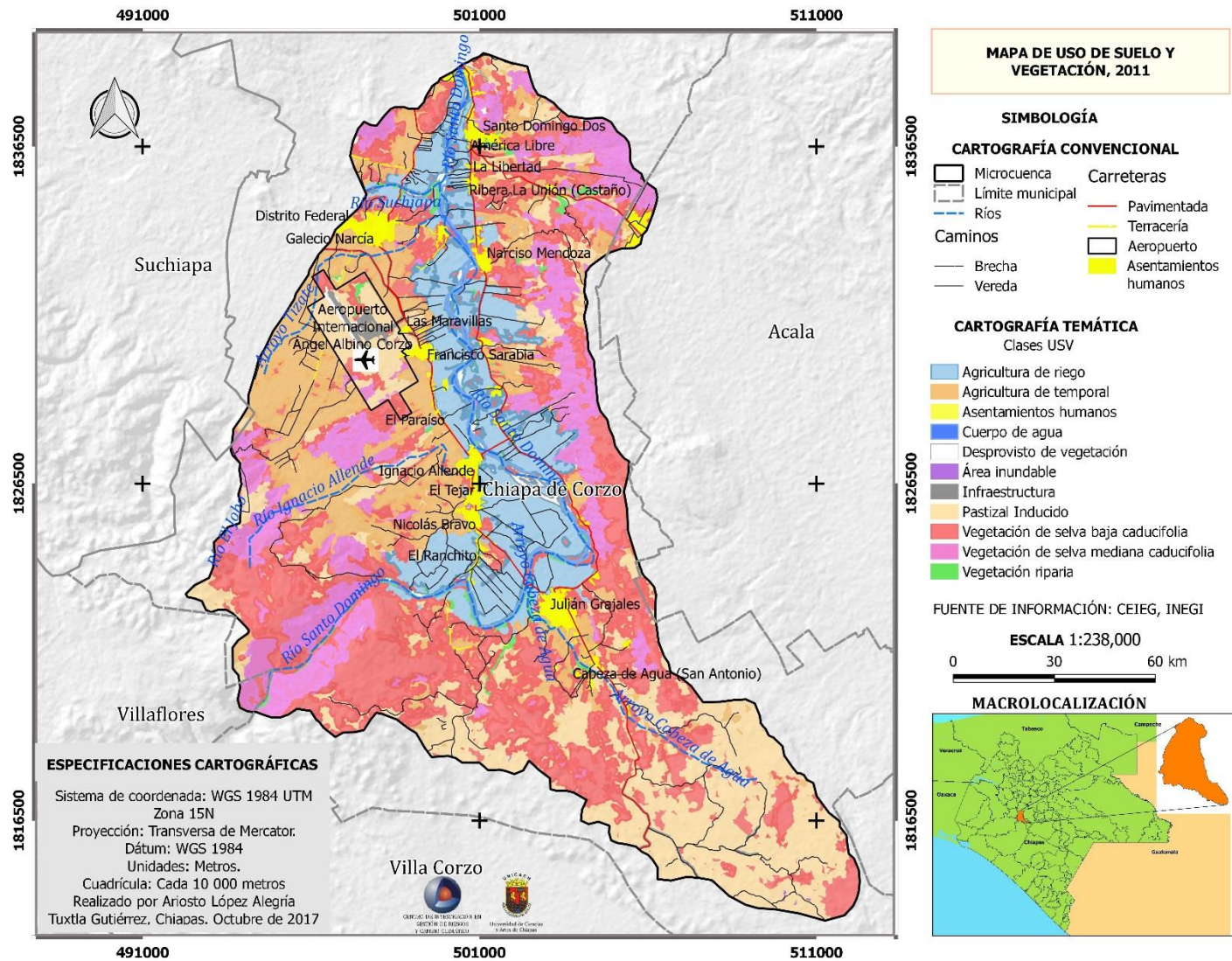


Figura 9. Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2011, en la microcuenca La unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

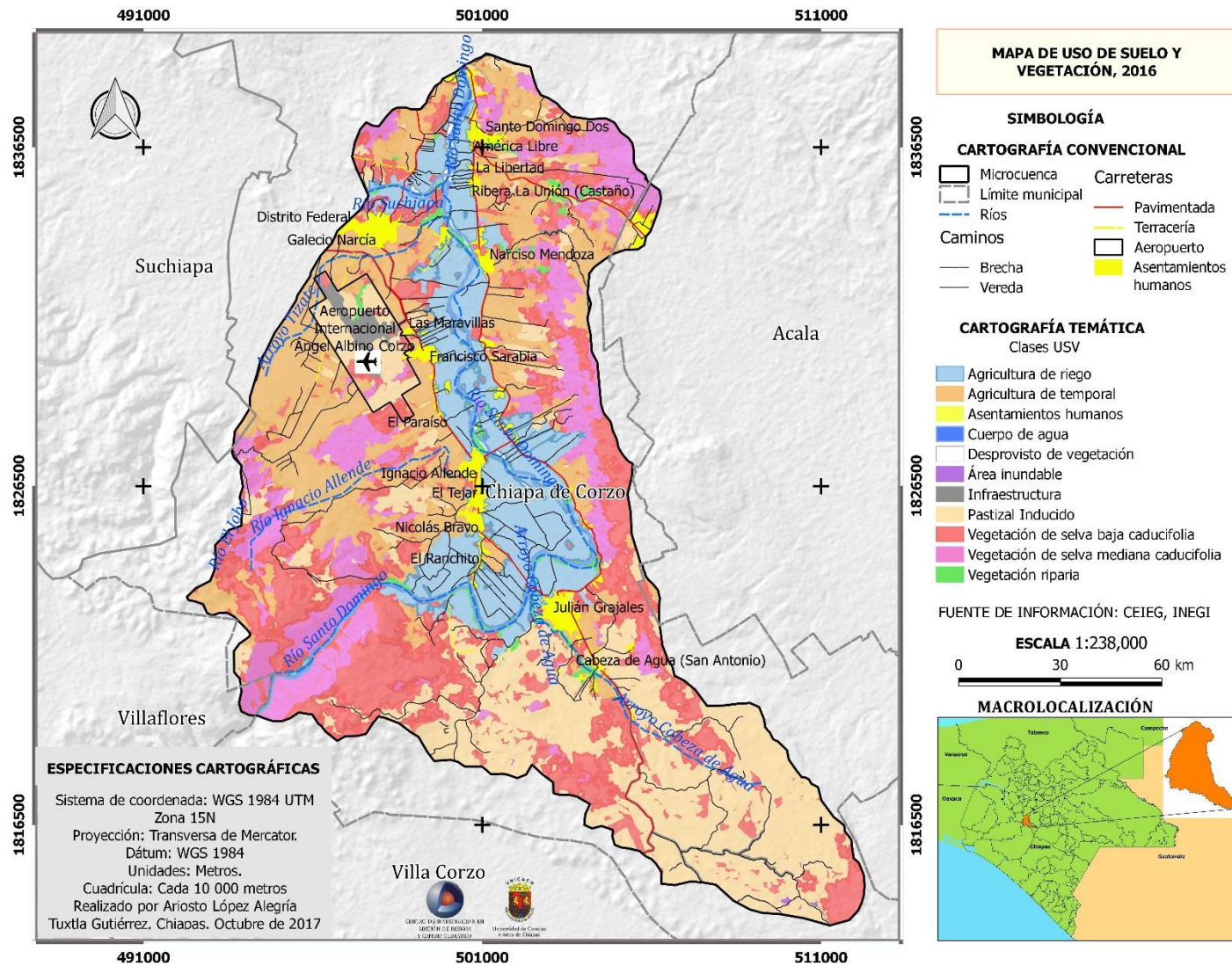


Figura 10. Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2016, en la microcuenca La unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

9.2 Tasas y transiciones de cambio

Las tasas de cambio para la vegetación de VSBC y VSMC en el primer periodo (2005-2011), fueron de -10.16 %/año y -7.42 %/año respectivamente. En la figura 11 se pueden observar los sitios que fueron deforestados. Las tasas para AGR y AGT fueron de 8.81 %/año y 12.60 %/año. Para el PI fue de 0.53 %/año. Además, los AH e infraestructura presentaron una tasa de cambio de 112.87 %/año y 3.75 %/año respectivamente. Cabe destacar que el PI es uno de los usos de suelo que una mayor dinámica ha presentado, ya que conforme ha ganado superficies para su uso, éste ha transitado hacia las agriculturas, especialmente de temporal (figura 12).

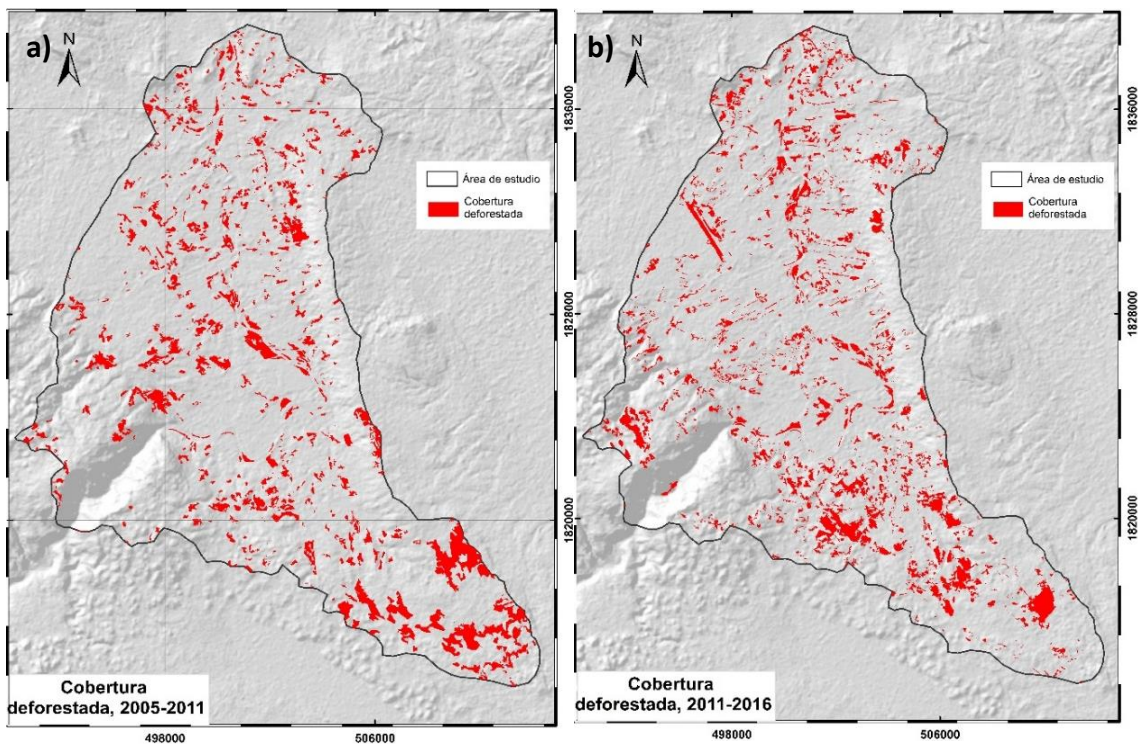


Figura 11. Mapa de los sitios deforestados en el periodo, a) 2005-2011, b) 2011-2016

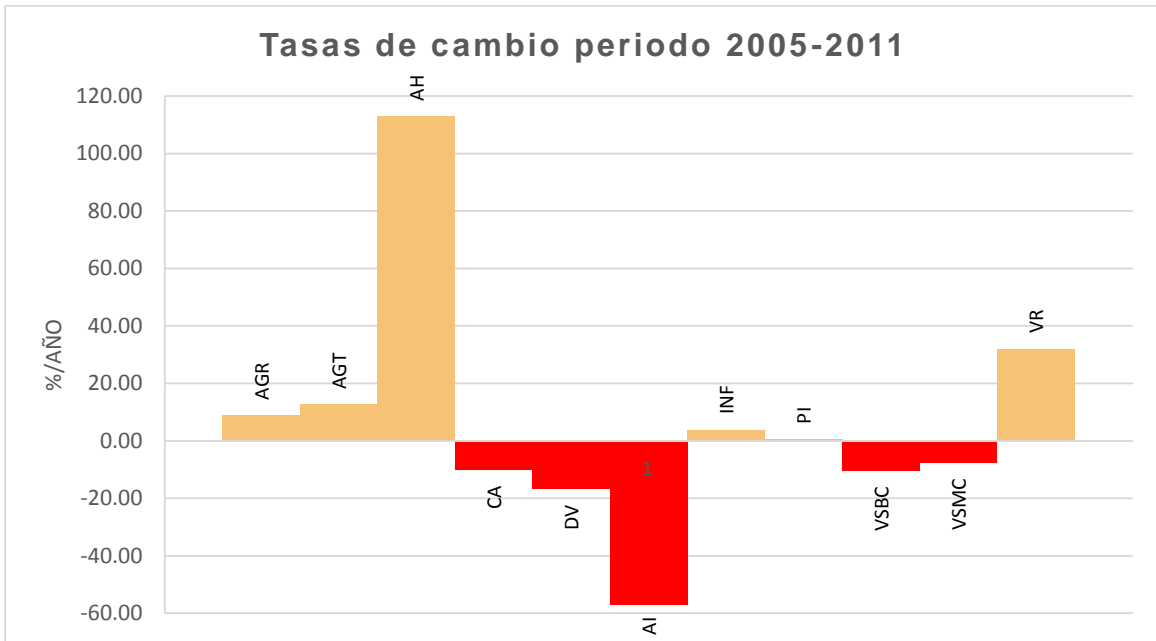


Figura 12. Tasas de cambio del periodo 2005-2011. Clases: agricultura de riego (AGR), agricultura de temporal (AGT), asentamientos humanos (AH), cuerpos de agua (CA), desprovisto de vegetación (DV), áreas inundables (AI), infraestructuras (INF), pastizal inducido (PI), vegetación de selva baja caducifolia (VSBC), vegetación de selva mediana (VSMC) y vegetación riparia (VR).

Para el periodo 2011-2016, se presentó la misma tendencia que el periodo anterior (2005-2011), una disminución de la vegetación de VSBC con tasas de -16.67 %/año y -15.81 %/año respectivamente. Las de AGR y AGT fueron de 1.36 %/año y -1.25 %/año. Para PI la tasa fue de 12.25 %/año, mientras que los AH e infraestructura presentaron una tasa de cambio de 307.99 %/año y 81.67 %/año respectivamente (Figura 13).

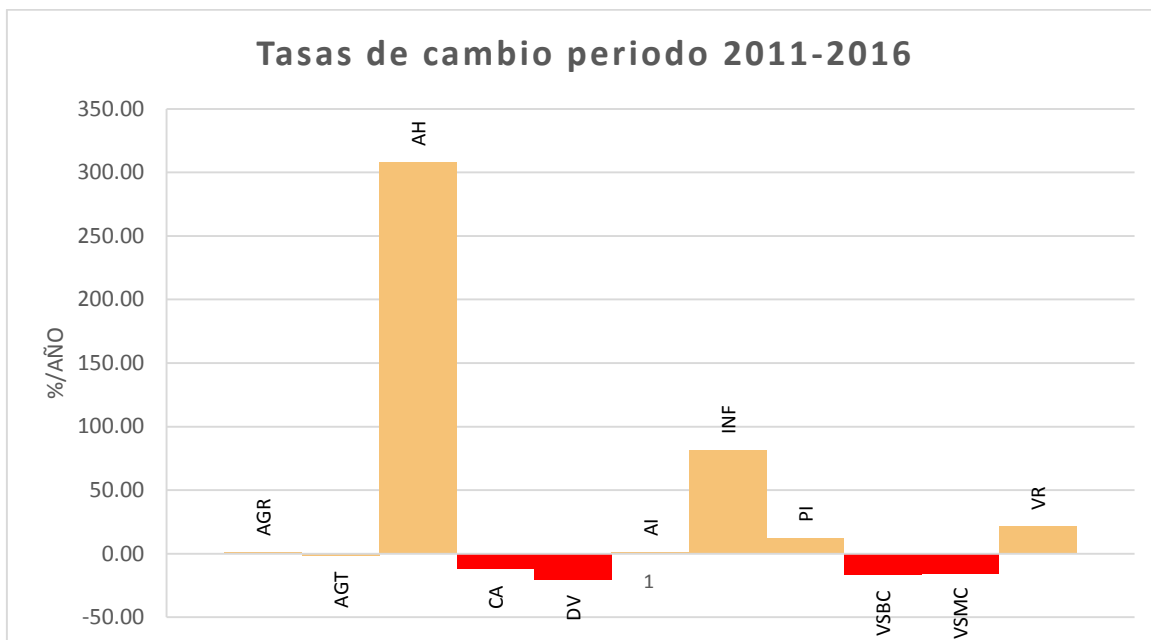


Figura 13. Tasas de cambio del periodo 2011-2016. Clases: agricultura de riego (AGR), agricultura de temporal (AGT), asentamientos humanos (AH), cuerpos de agua (CA), desprovisto de vegetación (DV), áreas inundables (AI), infraestructuras (INF), pastizal inducido (PI), vegetación de selva baja caducifolia (VSBC), vegetación de selva mediana (VSMC) y vegetación riparia (VR).

En las figuras 14 y 15 se presentan los diagramas con las transiciones más activas para los periodos 2005-2011 y 2011-2016, respectivamente, donde se determina que las transiciones más relevantes se dieron en el tipo de vegetación de VSBC, hacia AGT, AGR y PI.

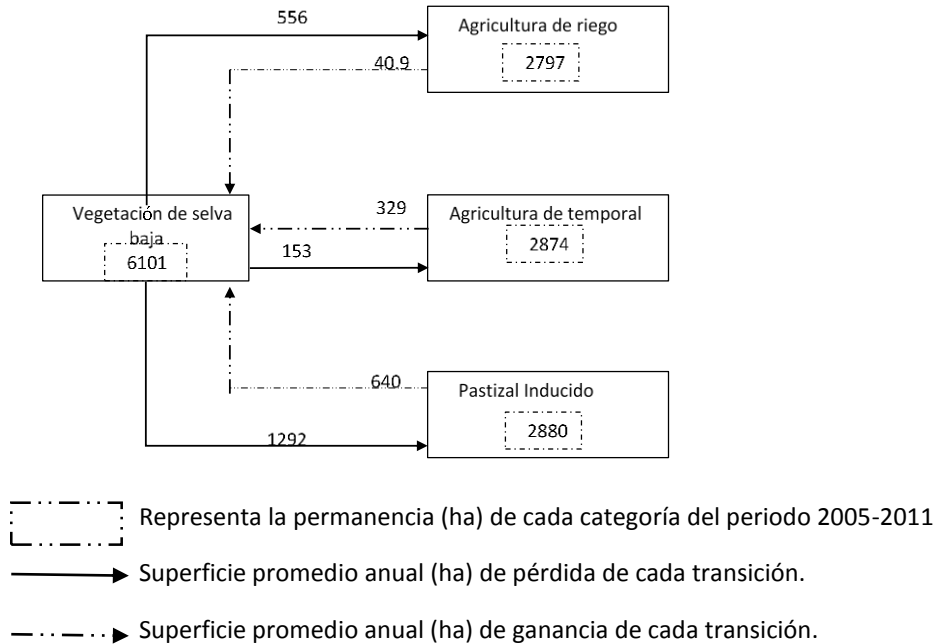


Figura 14. Representación esquemática de los procesos de cambio de cubierta/uso de suelo en el periodo 2005-2011. Los números en las cajas punteadas representan la permanencia, las flechas en negrita representan la superficie promedio anual perdida, mientras que las flechas punteadas representan la superficie promedio anual ganada para las cubiertas vegetales.

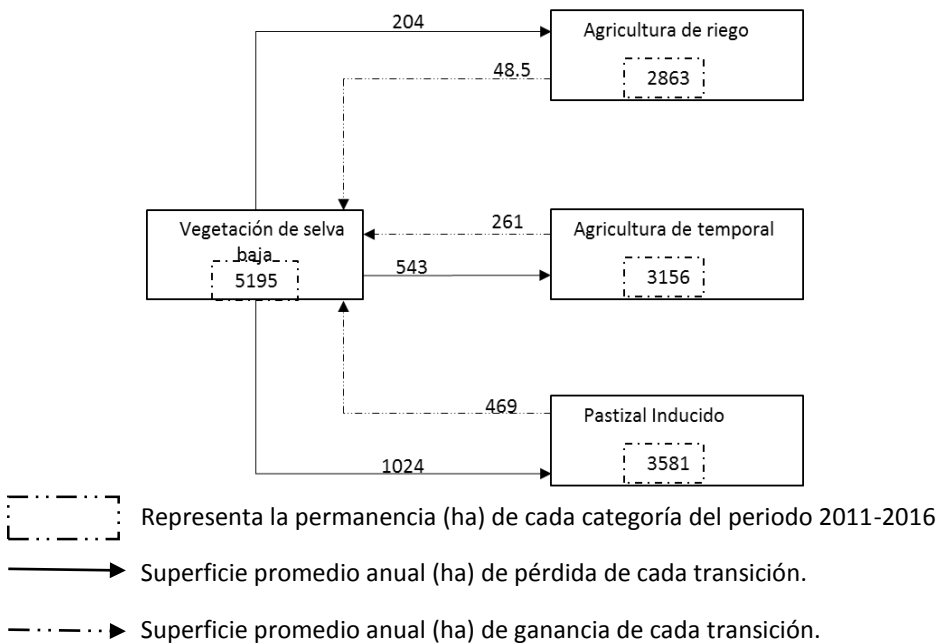


Figura 15. Representación esquemática de los procesos de cambio de cubierta/uso de suelo en el periodo 2011-2016. Los números en las cajas punteadas representan la permanencia, las flechas en negrita representan la superficie promedio anual perdida, mientras que las flechas punteadas representan la superficie promedio anual ganada para las cubiertas vegetales.

9.3 Modelo de deforestación y escenario tendencial al 2025

Con DINAMICA EGO, se analizó la correlación para las variables, de acuerdo al límite de tolerancia adoptado para el índice de Crammer menor a 0.45, un valor superior a este indicaría la duplicidad de información de las variables incorporadas en el modelo (Almeida, et al., 2005). Por tanto, los valores obtenidos para dicho índice fue menor a 0.45 lo que implica la independencia de las variables consideradas. En el cuadro 5, se presentan las variables y la relación de los pesos de evidencia calculados para la transición de vegetación de selva baja caducifolia (VSBC) hacia tres usos del suelo: agricultura de riego, de temporal y pastizal inducido.

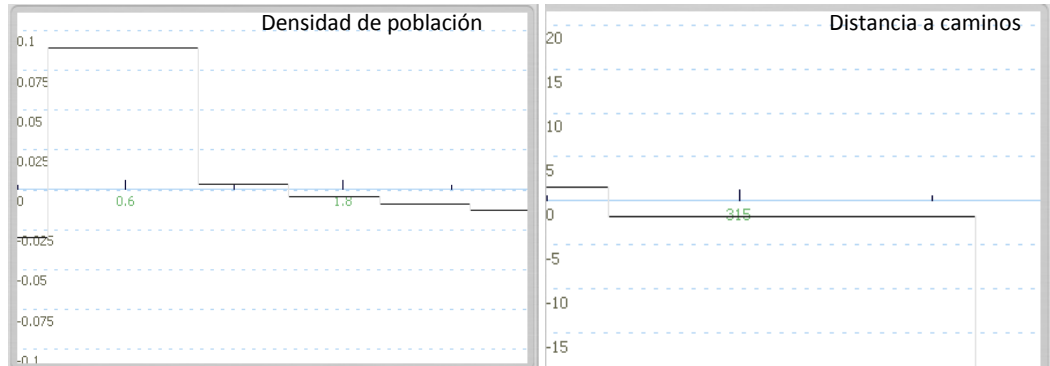
Cuadro 5. Asociación de las variables, ambientales y socioeconómicas con la deforestación. Las cubiertas corresponden a vegetación de selva baja caducifolia (VSBC); mientras que los usos de suelo corresponden a pastizal inducido (PI), agricultura de riego (AGR) y agricultura de temporal (AGT). Los signos representan la relación positiva (+), negativa (-) o sin relación (0) o que se da entre las variables y la transición de cubiertas y usos de suelo.

Variable	Clave	VSBC		
		AGR	AGT	PI
Altitud	Altitud	+	+	+
Pendiente	Pendiente	-	+	+
Caminos	Caminos	+	+	+
Asentamientos humanos	AH	+	+	+
Densidad de población	Dens_pob	+	+	+
Distancia a agricultura de riego	Dist_AGR	0	+	+
Distancia a agricultura de temporal	Dist_AGT	+	0	+
Distancia a asentamientos humanos	Dist_AH	+	+	+

A pesar de que casi en la totalidad de las variables presentaron una relación positiva en cada una de las transiciones, en la figura 16 se presentan las variables antrópicas que mayor influencia tuvieron. La distancia a los caminos fue una de las variables que mayor peso tuvo en cada uno de las transiciones; en la transición de

VSBC a AGR la distancia se presentó de 0 a 100 metros, de VSBC a AGT estuvo en un rango entre 50 a 350 metros, mientras que para pastizal inducido tuvo influencia a una distancia mayor a 1900 metros.

Transición de VSBC a AGR



Transición de VSBC a AGT



Transición de VSBC a PI



Figura 16. Variables que tuvieron mayores pesos para cada uno de las transiciones consideradas de la vegetación de selva baja caducifolia (VSBC) hacia la agricultura de riego (AGR), agricultura de temporal (AGT) Y pastizal inducido (PI)

9.4 Mapa de probabilidad de deforestación

En la figura 17, se presentan los mapas de probabilidad de deforestación, con valores entre 0 a 1. Los cuales representan la relación obtenida entre las variables y los pesos de evidencias para cada una de las transiciones modeladas. Las zonas con potencial a ser deforestadas tienen valores próximos a 1 para los usos de suelo de AGR, AGT y PI. La AGR presenta valores altos al centro de la microcuenca, junto al paso del río, mientras que para la AGT se extiende sobre el este, oeste y norte de la microcuenca, finalmente el PI marca potencial alto de deforestación en el sur y parte alta de la microcuenca.

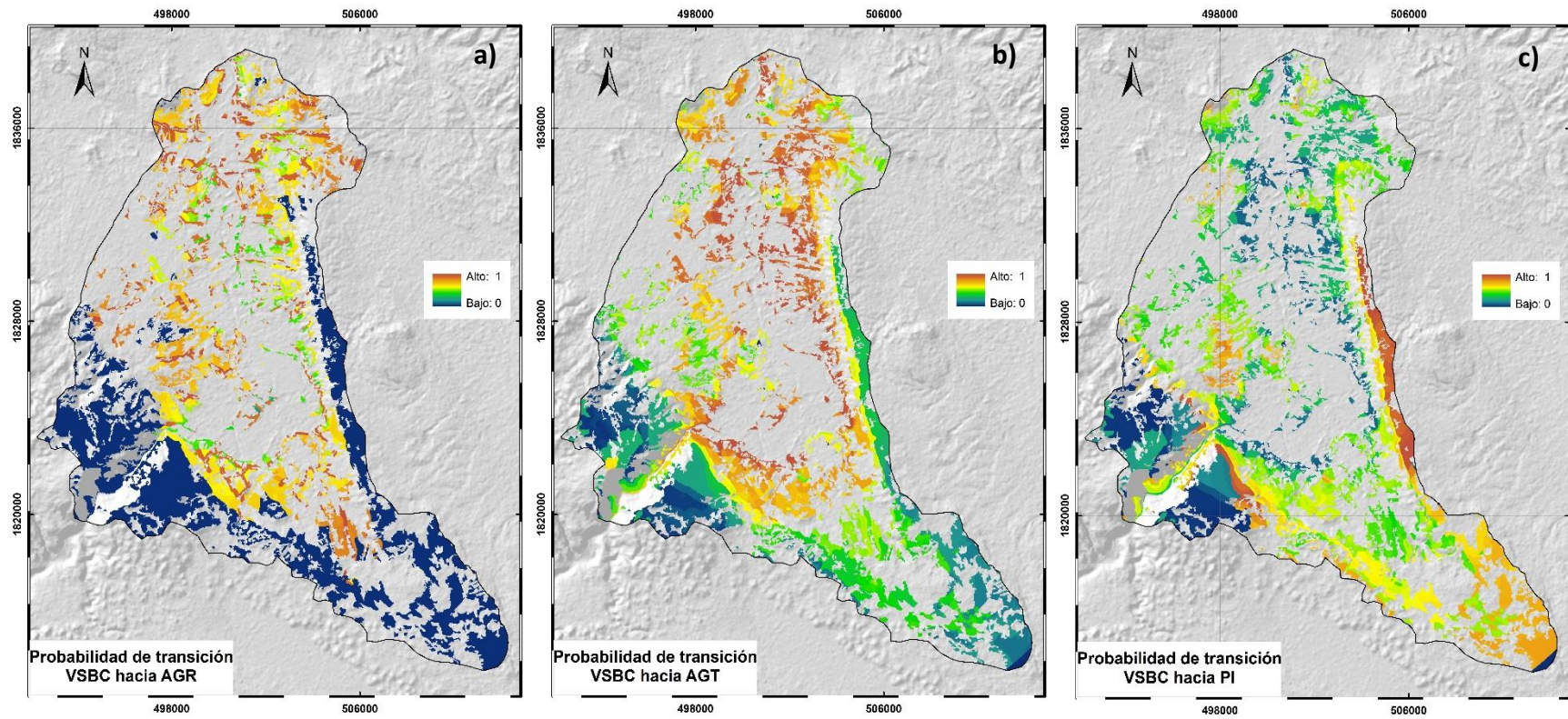


Figura 17. Mapas de probabilidad de cambio de a) selva baja caducifolia (VSBC) hacia agricultura de riego (AGR), b) agricultura de temporal (AGT) y c) pastizal inducido (PI).

9.5 Simulación y validación del modelo de deforestación

Para llevar a cabo la simulación y comparar con el "mapa real observado", a partir de obtener los autómatas celular con que trabaja DINAMICA EGO (expandir y patcher), se pudo obtener una mejor aproximación al mapa observado, con el uso únicamente del autómata expandir, por lo que la simulación está basada en la expansión de parches de los usos de suelo que han propiciado la deforestación de las cubiertas previamente existentes. En la figura 18 se muestra el mapa simulado obtenido al año 2016, siendo este el que más se aproximó al mapa real observado.

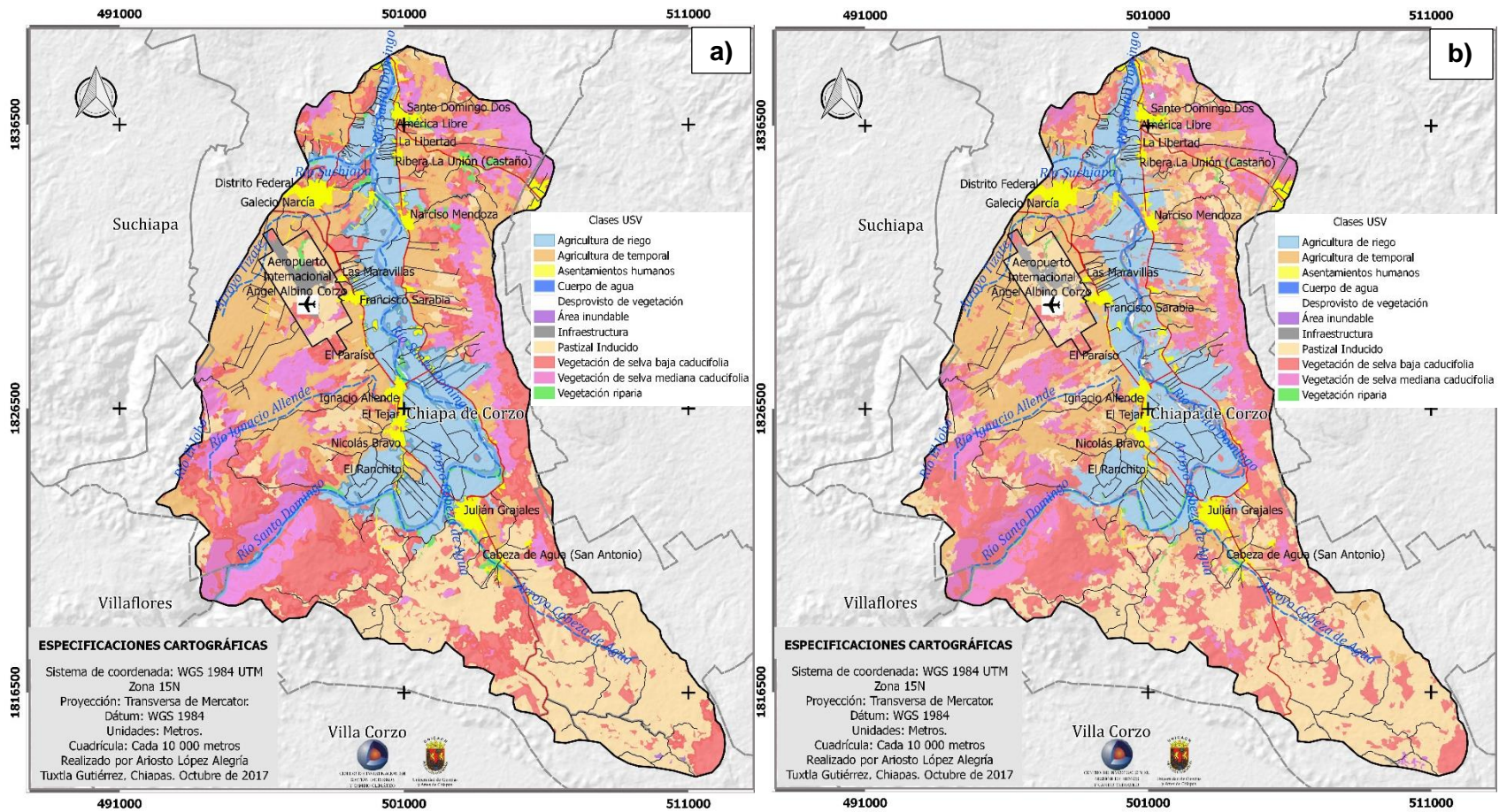


Figura 18. Similitud: a) mapa real observado 2016, b) mapa simulado al 2016.

Con el software DINAMICA EGO se llevó a cabo la simulación de la cubierta de uso de suelo hacia el año 2016, con el periodo de calibración (2005-2011). Para ello, se realizó una prueba de similitud. Piontekowski *et al.*, (2012) sugieren que la obtención de valores de similitud por encima de un 50 % entre los mapas comparados sería satisfactoria para la validación del modelo. El gráfico de la figura 9 muestra que se cumple con el 50%, al tener un tamaño de celda de 45 pixeles para el presente modelo.

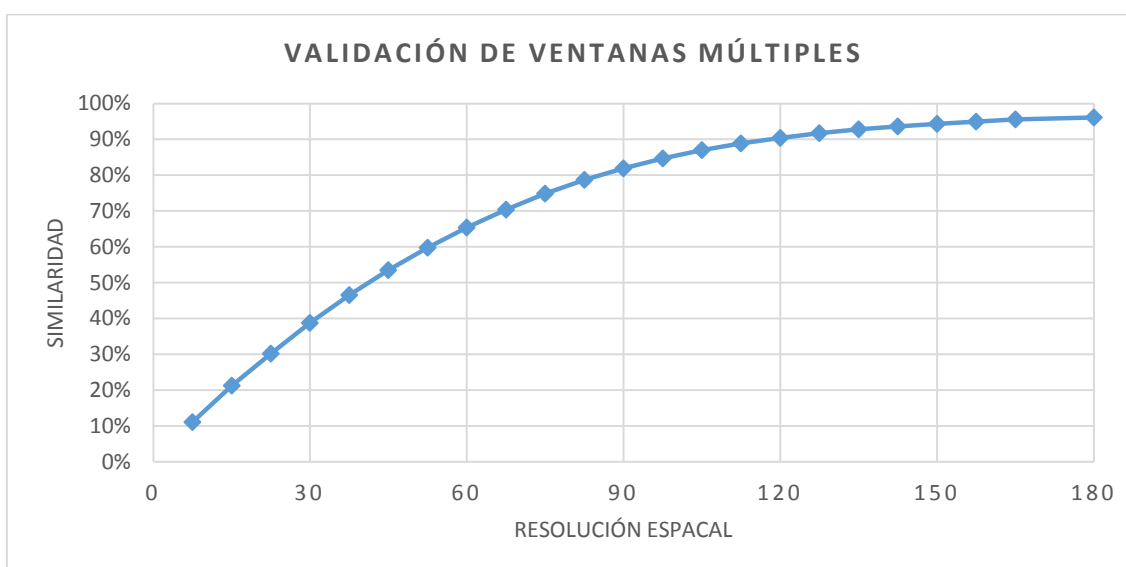


Figura 19. Gráfico de validación de similitud del mapa simulado 2025.

Después de calibrar y validar el modelo, se obtuvo la simulación al año 2025. De manera gráfica, en la figura 20 se observa cómo la AGT y PI tienen un incremento, mientras que la VSBC pierde superficie. Las cubiertas naturales para el año 2016, se mantenían en 8,452 ha (35.40 % de la superficie de la microcuenca). Con base en los resultados se esperaba que para el año 2025 la cubierta natural sea de 5,828 ha (24.3 %), disminuyendo un total de 2,553 ha (10.7 %), además de un incremento de 87 ha (0.4 %) y 690 ha (2.9 %) para la AGR y AGT

respectivamente, mientras que para el PI presentaría un incremento de 1,860 ha (7.8 %) (Figura 21). Este incremento de transiciones de cubiertas naturales hacia los distintos usos de suelo resulta de suma importancia para la microcuenca, puesto que el mapa simulado indica que en la parte sur se perderían casi en su totalidad los remanentes de VSBC así como en la parte alta de la microcuenca.

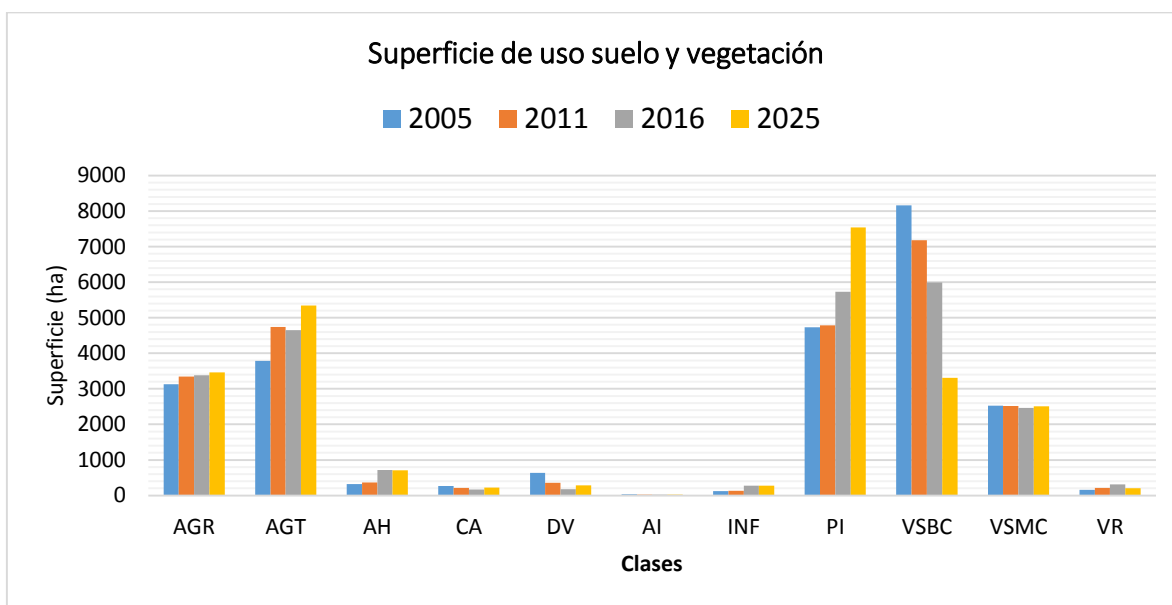


Figura 20. Gráfico de las superficies de las cubiertas y usos de suelo, a través de los años en la microcuenca La Unión en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Clases: agricultura de riego (AGR), agricultura de temporal (AGT), asentamientos humanos (AH), cuerpos de agua (CA), desprovisto de vegetación (DV), áreas inundables (AI), infraestructuras (INF), pastizal inducido (PI), vegetación de selva baja caducifolia (VSBC), vegetación de selva mediana (VSMC) y vegetación riparia (VR).

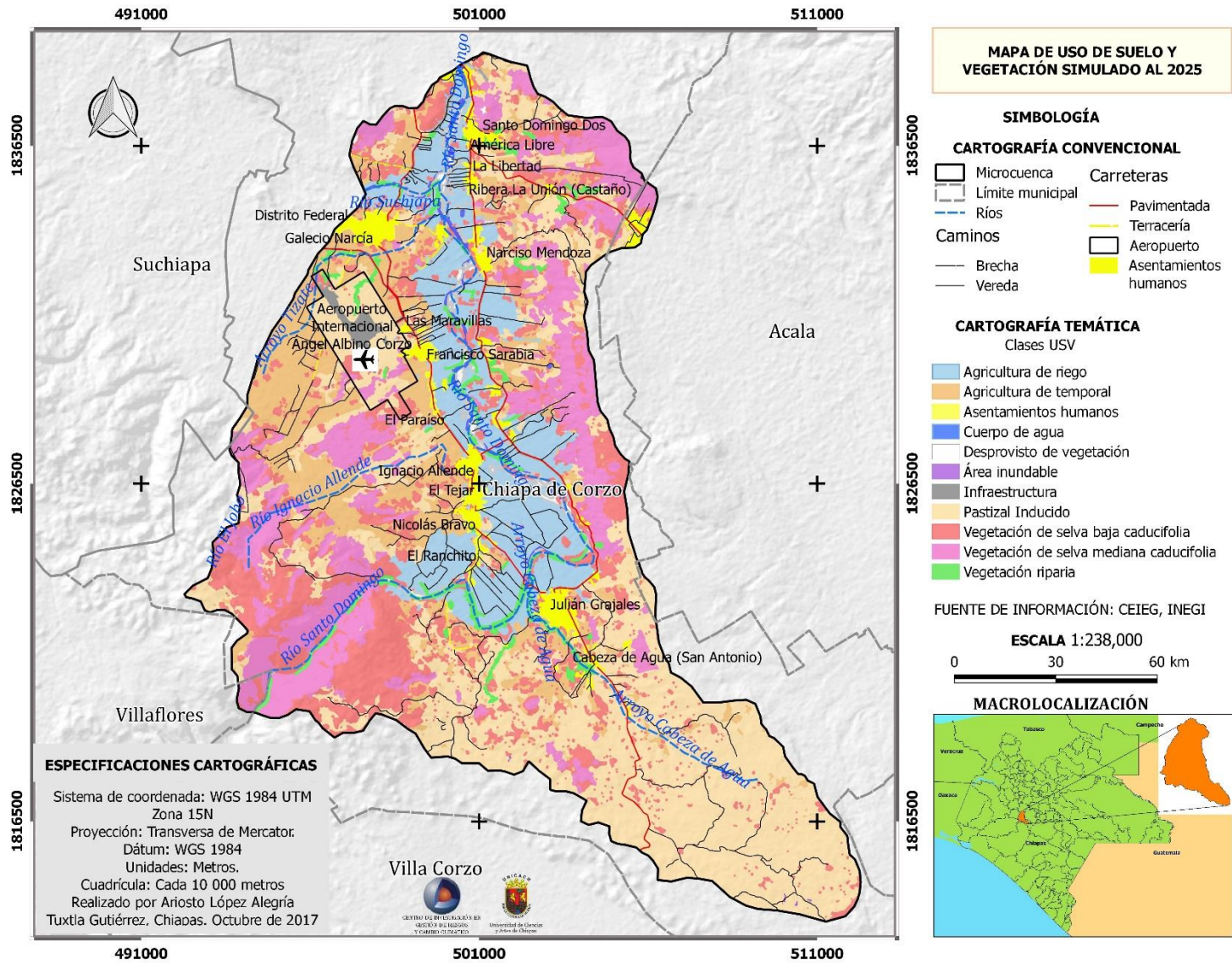


Figura 21. Mapa de uso de suelo y vegetación simulado al año 2025.

10. DISCUSIÓN

El acelerado proceso de deforestación en la microcuenca en la última década presentó altas tasas de cambio anual observadas en los dos periodos de tiempo. En el primer periodo 2005-2011, la VSBC disminuyó a una tasa de -10.16 %/año, mientras que para el periodo 2011-2016, fue de -16.67 %/año. En contraste con la VSMC que presentó una tasa de cambio inferior a la VSBC, siendo de -7.42 %/año (2005-2011) y -15.81 %/año (2011-2016). Sin embargo, las superficies que se perdieron para el primer periodo fueron de 996 ha, de las cuales 979 ha (98.3 %) fueron de la VSBC y 17 ha (1.7 %) de la VSMC, para el segundo periodo se perdieron un total de 1,242 ha de las cuales 1,189 ha (95.7 %) fueron de VSBC y 53 ha (4.3 %) de VSMC, cabe señalar que la VSMC no fue incluida para la modelación puesto que las superficies que se perdieron para el primer periodo, no fueron representativos al incluirlas al modelo.

En efecto, las tasas de cambio para la VSBC estimadas son consideradas altas, en comparación con las tasas de cambio estimadas en otros trabajos, por ejemplo, para la selva lacandona (-4.5 %/año), Calakmul (-2 %/año) (Velázquez et al., 2002); las selvas en el corredor biológico El Triunfo-Montes Azules (CBT-M) en el periodo 1993-2002, con -2.52 %/año, (Ramírez, 2011); a nivel más local (Flamenco et.al., 2007), estimaron una tasa de deforestación que pasó de -1.2 %/año (1986-1995) a -6.76 %/año (1995-2000) para la Reserva de la Biosfera Selva el Ocote, considerada crítica por la alta riqueza y endemismo de especies arbóreas. Así mismo, en las selvas medianas de Marqués de Comillas las tasas de

deforestación que se estimaron fueron de -3.4 % (1986-1997) y -4.8%/año (1997-2005) (Castillo, 2009).

Las tasas de cambio estimadas para la microcuenca responden a las actividades que en ella se llevan a cabo. Por ejemplo, la ganadería explica las conversiones de la VSBC a las expansiones de PI actual. Por otra parte, las AGT y AGR han sido de las principales actividades pero de manera intensiva, esto como respuesta a la demanda de productos por el crecimiento poblacional, teniendo un importante incremento en los AH. La problemática radica en que la VSBC, son vistas como proveedores de leña, productos no maderables así como áreas de pastoreos extensivo (Arias et.al., 2002). Estos tipos de actividades fueron identificadas como las principales amenazas a este tipo de vegetación de acuerdo con el trabajo realizado por Gavito et.al. (2014). En México, la selva baja caducifolia, es un tipo de vegetación más amenazado, teniendo consigo enormes afectaciones sinérgicas con la biodiversidad que resguardan (Calderón, 2012), así mismo, manifiesta esta alarmante preocupación por este ecosistema, ya que en el país se encuentra aproximadamente el 38 % de la VSBC de América y para 2012 tan sólo el 0.2 % se encontraba bajo protección oficial.

Dentro del enfoque de la modelación CCUS es posible integrar variables que han sido definidas por otros autores como factores promotores de cambio tales como distancias a caminos, asentamientos humanos, uso agropecuario (agriculturas y pastizal), densidad poblacional, el grado de pendiente y la elevación (Castillo, 2009; Mas, 2011; Ramírez, 2011; Farfán, 2015). Dichas variables demostraron una relación positiva en el proceso de deforestación de la VSBC hacia

las agriculturas y el PI, principalmente la distancia a los AH, densidad poblacional, distancia a los caminos (ante las agriculturas tuvieron mayor peso a una distancia menor a 400 m, mientras que para el pastizal la importancia se presentó superior a los 1, 900 m) y la distancia hacia a la agricultura de riego para el pastizal, por ende cuanto mayor crecimiento tengan estas variables en la microcuenca, se esperaría un impacto aún más severo en la cubierta de la VSBC.

En el estado de Chiapas, pocos trabajos han sido desarrollados desde un enfoque de modelación de la cubierta vegetal y cambio de usos de suelo. Dentro de los más relevantes está el desarrollado por Castillo en 2009, con la implementación del software IDRISI versión ANDES, que evaluó la pérdida de cubierta vegetal principalmente de las selvas mediana y baja, de tipos subperennifolia y subcaducifolia, en Marqués de Comillas, empleando variables auxiliares para modelar los cambios tales como: distancias a áreas agropecuarias, distancia a caminos, distancia a cuerpos de agua, distancias a poblados, densidad poblacional y pendientes del terreno. De estas variables las distancias a zonas agropecuarias y densidad de la población mostraron patrones similares para valores bajos, es decir, que la distancia a los caminos tenía mayor importancia, menor a 1,500 m, y a una densidad poblacional de 15 habitantes/km².

Así mismo, Mas y Sandoval (2011), a través de la implementación del software DINAMICA EGO, construyeron un modelo de deforestación en la Reserva de la Biósfera Selva el Ocote, empleando variables tales como; modelo digital de elevación, pendiente, distancia a carreteras, distancia a poblaciones, distancias a rasgos hidrográficos, área protegida, distancias a ciertos usos del suelo y tenencia

de la tierra. A partir del análisis de cambio se encontraron 9 transiciones para llevar a cabo el escenario tendencial de deforestación, tres de las transiciones son; selva seca a selva seca secundaria y agricultura/pastizal, y selva seca secundaria hacia agricultura/pastizales, las variables antrópicas que influyeron fueron distancias a carreteras, distancias a poblaciones, distancias a ciertos CCUS y tenencia de tierra. Finalmente Ramírez en 2011, realizó un trabajo en el Corredor Biológico Mesoamericano-México (Ramírez, 2011) y encontró que los procesos de cambio que han predominado en el CBT-M son la degradación de selvas y bosques. Para el escenario de deforestación, la cercanía a terracerías y brechas, la cercanía a los poblados con habitantes mayores a 100, cercanía a zonas previamente deforestadas (APF) fueron encontradas como los factores más importantes, no así para la distancia a caminos pavimentados que presentó un valor bajo y con una correlación fuerte con otras variables. Los CCUS más drásticos se presentan en el escenario agropecuario, ya que este predice una pérdida del 48 % (300,800 ha) en la extensión de selvas para el 2030.

La cubierta vegetal juega un papel muy importante en las cuencas, siendo un elemento regulador de diversos procesos físicos en el medio, por lo que la alteración a este sistema tiende a modificar el ciclo hidrológico (Maass, 2004). En los últimos 5 años, algunas de las poblaciones dentro de la microcuenca han experimentado disminución del nivel freático en los pozos en los meses de estiaje. En particular, el trabajo realizado por De Coss (2017), sobre el balance hídrico en la microcuenca La Unión estimó el efecto directo de la pérdida de la cobertura en la capacidad de

infiltración y recarga del acuífero siendo menores con respecto a las áreas con presencia de vegetación.

La FAO (2015), preveía que las actividades agropecuarias estarían ganando importancia en la pérdida de la cubierta vegetal. A pesar de no tener datos cuantitativos exactos de la cantidad de ganado para realizar una comparación de su incremento a través de los años, es evidente que los espacios para pastizal inducido van en aumento. Así mismo, la construcción del aeropuerto Internacional Ángel Albino Corzo que comenzó a operar en el año 2006 y construcción de infraestructura carretera ha influido en las expansiones de agriculturas y pastizales puesto que ha facilitado el tránsito de los productores, aunado a esto, se comienzan a percibir nuevos espacios para asentamientos humanos lo que conlleva a la construcción de lotificación sobre poblados principalmente Galecio Narcía y Narciso Mendoza, presentando un fuerte crecimiento los años 2011 al 2016. En general, la población que existe dentro de la microcuenca espera un crecimiento, en base al método usado por INEGI para las proyecciones de la población, se espera que para el año 2025 la población sea de 21, 645, es decir, 5,562 más que en 2010 lo que representa un 25.6 % de crecimiento en el número de habitantes, lo que indicaría que la presión a las cubiertas naturales podrían agravarse aún más, principalmente por la demanda de recursos.

11. CONCLUSIÓN

En 11 años (2005-2016) la microcuenca La Unión, perdió 2,168 ha de VSBC, lo que representa el 26.6 %, mientras que la VSMC perdió tan solo 71 ha, siendo el 2.78 %, con respecto a la superficie inicial. Esto responde a que la VSMC se localiza principalmente en cañadas, lugar donde se dificulta el acceso para las actividades antrópicas, por ende, las superficies deforestadas en el primer periodo no fueron significativas para incluirlas en el modelo, caso contrario al tipo de VSBC.

Las tasas de cambio en el primer periodo para selva baja y mediana fueron de -10.16 %/año y -7.42 %/año respectivamente, esta tendencia de pérdida de cubierta se mantuvo para el segundo periodo, lo cual fue de -16.67 %/año y -15.81 %/año respectivamente.

Las agriculturas tuvieron un incremento de 7.95 % (249 ha para AGR) y 18.45 % (858 ha para AGT). A partir del reconocimiento en campo en los recorridos en diversos puntos, se pudo constatar que, el PI tiene un incremento importante en la microcuenca, ya que se destinan a producir el alimento para el pastoreo y ganado, por lo que se considera que el proceso de deforestación está relacionado fuertemente a la ganadería, teniendo un incremento de 17.49 % (1,003 ha) en 11 años, en el primer periodo (2005-2011) tan sólo fue de 1.2% que corresponde a 61 ha, mientras que en el segundo periodo (2011-2016) del 16.4% que representa un total de 942 ha. Finalmente, los asentamientos humanos así como la infraestructura tuvieron un incremento de 55.67% y 54.55%, respectivamente en 11 años.

Bajo la construcción del escenario tendencial de deforestación al 2025, es posible plantear la disminución de la VSBC promovida por el incremento de las

actividades agropecuarias. Si bien, es cierto el software de modelamiento no necesariamente predice lo que sucederá con exactitud, sí permite inferir las principales causas y hacia dónde tomar medidas para amortiguar el acelerado proceso de deforestación en la microcuenca.

11. REFERENCIAS

- Alatorre, N. s.f. "La microcuenca como elemento de estudio de la vulnerabilidad ambiental". Centro de Estudios en Geografía Humana. El Colegio de Michoacán, A.C.
- Almeida, C. M. y otros, 2005. GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land use change. *International Journal of Remote Sensing*, 26(04), pp. 759-774
- Arias, D., O. Dorado y B. Maldonado. 2002. Biodiversidad e importancia de la selva baja caducifolia: la Reserva de la Biosfera de Huautla. CONABIO. *Biodiveristas* 45:7-15
- BLACK, P.E., 1996. *Watershed Hydrology*, Second Edition, Lewis Publisher Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Bonham-Carter, G. F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Ontario: Pergamon.
- Boucher, D., Elias, P., Lininger, K., May-Tobin, C., Roquemore, S. y Saxon, E. 2011. *The root of the problem: what's driving tropical deforestation today?* Cambridge, Massachusetts (Estados Unidos de América), Union of Concerned Scientists.
- Bosque Sendra Joaquín y C. García Rosa, 2000. El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 2000, ISSN: 0211-9803, pp 49-67

Briassoulis, H., 2000. "Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches," Morgantown. Loveridge S. The Web Book of Regional Science West Virginia University.

Burgos Ana L, Bocco Gerardo y Sosa R. Joaquín, 2015, Dimensiones sociales en el manejo de cuencas Universidad Nacional Autónoma de México Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental Fundación Río Arronte, 318 p.

Burgos, A., Bocco, G. (2014) "La gestión del agua y el aporte de la geografía al enfoque de cuencas hidrográficas en México": Pérez Correa, F. (coord.) Gestión Pública y Social del Agua en México, Seminario Universitario de Estudios sobre Sociedad, Instituciones y Recursos (SUSIR), UNAM, México, pp. 21-33.

Calderón-Aguilera, L. E., Rivera-Monroy, V. H., Porter-Bolland, L., Martínez-Yrizar, A., Ladah, L., Martínez-Ramos, M., Alcocer, J., Santiago-Pérez, A. L., Hernández-Arana, H. A., Reyes-Gómez, V. M., Pérez-Salicrup, D. R., Díaz-Núñez, V., Sosa-Ramírez, J., Herrera-Silveira, J. y A. Búrquez, 2012. An assessment of natural and human disturbance effects on Mexican ecosystems: current and research gaps. *Biodiversity and Conservation* 21: 589-617.

Camacho Sanabria Jose M., Modelado de cambios de cobertura y uso de suelo, bajo escenarios prospectivos, caso de estudio Amanalco de Becerra en el Estado de México. Universidad Autónoma de México, Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias, 109 p.

Castillo Santiago Miguel ángel, 2009, Análisis con imágenes Satelitales de los recursos forestales en el trópico húmedo de Chiapas. Un caso de estudio en Marquéz de Comillas, Chiapas. Tesis para el grado académico de Doctor en Ciencias, México D.F. 123 p.

Ceballos Gerardo, M. Lourdes, G. Andrés, E. Eduardo y B.C. Juan. Áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico mexicano

CEIEG (Comite Estatal de Informacion Estadistica y Geografica de Chiapas)

Céspedes S. Elena, Moreno. S. Enrique y Flores, Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México.

Chamochumbi, Walter, (2010), El ordenamiento territorial en la gestión de cuencas hidrográficas: criterios de base y nuevos elementos de discusión [http://www.alainet.org/images/art_doc_OT y gestin de cuencas hidrograficas_vnpu.pdf](http://www.alainet.org/images/art_doc_OT_y_gestin_de_cuencas_hidrograficas_vnpu.pdf), Instituto Salud y Trabajo recuperado el de octubre de 2016.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Atlas del Agua en México 2015.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2013. La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Gobierno del Estado de Chiapas. México

- Cotler H., A. Priego, C. Rodríguez, Enriquez C. 2004. Determinación de zonas prioritarias para la eco-rehabilitación de la cuenca Lerma-Chapala. *Gaceta ecológica* 71:79-92.
- Cuevas, G. & Mas, J. F., 2008. Land use scenarios: a communication tool with local communities. En: P. M. & C. O. MT, ed. *Modelling Environmental Dynamics*. s.l.:Springer, pp. 223-246.
- Cuevas, G. & Mas, J., 2008. Land use scenarios: a communication tool with local communities. En: M. Paegelow & M. T. Camacho Olmedo, edits. *Modelling Environmental Dynamics*. s.l.:Springer, pp. 223-246.
- De Coss, 2017, Impacto de la pérdida de cobertura vegetal en el balance hídrico e la microcuenca la Unipon en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Tesis de Licenciatura, 100 p.
- Ehrlich, A.H. y P.R. Ehrlich. 1992. Causes and consequences of the disappearance of biodiversity. En Sarukhán, J. y R. Dirzo (comps.). *México ante los retos de la biodiversidad*. Conabio. México.
- FAO 2016. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambio climático, agricultura y seguridad alimentaria*, Roma, 2016. 219 p.
- FAO, 1996. *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Number 130, Roma: FAO.
- FAO, 2011. *Situación de los bosques del mundo. Anexo, Cuadro 2: Extensión de bosques y variaciones en la misma*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

- FAO, 2015, Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015, Compendio de datos. Roma.
- FAO. 2016. El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma
- FAO. 2016. El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra. Roma
- Farfán Gutiérrez Michelle, 2015, Escenarios de deforestación (2004-2018) en la reserva de la biosfera sierra de Manantlán y su impacto en las áreas potenciales de distribución de dos especies de felinos, Tesis para obtener grado de doctor en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. 196 p.
- Farina A. Landscape ecology in action. Holanda: SpringerScience Business Media, B.V; 2000. p. 317
- Flamenco, A., M. Martínez-Ramos y O. R. Maser. 2007. Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological Conservation*, 138:131-145.
- Garrido Arturo, Pérez D. J.L. y Guadarrama Enríquez C. Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México, Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, 1era Edición, México, 2009
- Golicher, D., Vaca, R., Taylor, N., Luis, M. 2008. Baseline forest cover analysis in Southern Mexico. Draft Report for Conservation International Mexico.

González, J.; Cubillos, A.; Arias, M.; Zapata, B. 2014. Resultados de la simulación de la deforestación para el ajuste del nivel de referencia del área subnacional A8. Bogotá, Colombia.,

González, J.J., Etter, A.A., Sarmiento, A.H., Orrego, S.A., Ramírez, C., Cabrera, E., Vargas, D., Galindo, G., García, M.C., Ordoñez, M.F. 2011. Análisis de tendencias y patrones espaciales de deforestación en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 64 p.

Gutman, G. y otros, 2004. Land change science: Observing, monitoring and understanding trajectories of change on the Earth's surface. Remote Sensing and Digital Image Processing Series 6. Dordrecht: Kluwer Academic.

Hernández J. Alexander "Propuesta metodológica para simulación de escenarios tendenciales y alternativos de cambio de la cobertura forestal" informe final de consultoría

Hosonuma, N., Herold, M., De Sy, V., De Fries, R.S., Brockhaus, M., Verchot, L., Angelsen, A., y Romijn E. 2012. An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. Environmental Research Letters, 7(4): 0044009, 12.

IHDP 10 / IGBP 48, 1999. Land-Use and Land-Cover Change: Implementation Strategy. HDP Report 10/IGBP Report 48 ed. Stockholm: s.n.

IHDP 7 / IGBP 35, 1995. Land-Use and Land-Cover Change: Science/Research Plan. HDP Report 7/IGBP Report 35 ed. Stockholm: s.n.

INECC 2012, Programa de Adaptación ante el Cambio Climático para el estado de Chiapas.

INEGI, 2005. Carta climática escala 1:1 000 000,

Isaline Jadin, Patrick Meyfroidt, Eric F. Lambin. Fores. 2015 . Protection and economic development by offshoring wood extraction: Bhutan's clean development path, Reg Environ Change (2016) 16:401–415DOI 10.1007/s10113-014-0749-y

Jean-Francois Mas, Melanie Kolb, Thomas Houet, Martin Paegelow, Maria Camacho Olmedo. 2010. Una comparación de diferentes enfoques de modelación de cambios de cobertura/uso del suelo. XIV Simposio Internacional SELPER 2010, Nov 2010, Guanajuato, México. pp.11

Johnston, R. J., 1994. "General systems theory". En: D. G. D. M. S. R J Johnston, ed. The Dictionary of Human Geography. Blackwell, Oxford: s.n., pp. 215-216.

Kissinger, G. et al. (2012) Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers. Lexeme Consulting, Vancouver Canada. Based on: HOSONUMA, N ET AL.. (2012) An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. Environ. Res. Lett. 7 044009.

Labrador G. Mauricio, Évora Brondo J.A y Arbelo P.M, 2012, Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio, Proyecto SATELMAC, Programa

de Cooperación Transnacional Madeira - Azores- Canarias -2007-2013 (PCT-MAC). 66 P.

Lambin EF, Meyfroidt P, 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proc Natl Acad SciUSA* 108:3465–3472. doi:10.1073/pnas.1100480108

Lambin, 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography* 21(3), 375-393.

Lambin EF, Meyfroidt P, 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proc Natl Acad SciUSA* 108:3465–3472. doi:10.1073/pnas.1100480108

Lambin, E. F., B. L. Turner, J. G. Helmut, S. B. Agbola, Libro Tepalcatepec.A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K. Homewood, J. Imbernon, R. Leemands, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P. S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkamp, C. Vogel y J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261-269.

Leija Loredo E.G. 2013, Cambios en la cubierta vegetal/uso del suelo y escenarios futuros en tres municipios de la región costera del estado de Oaxaca, México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 127 p

Lund, H.G., Torres V., Turner A.y L. Wood. 2002. Análisis crítico de los estimados disponibles de deforestación. USAID. SE-MARNAT. México.

- Maass, J. M. (2004) "Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas: un análisis del problema de escala": Cotler, E. (comp.) El Manejo Integrado de Cuencas en México: estudios y reflexiones para orientar la política ambiental, INE-SEMARNAT, México, pp. 49-62.
- Manson, S. & O'Sullivan, D., 2006. Complexity theory in the study of space and place. *Environment and Planning A*, Volumen 38, pp. 677-692.
- Manson, S., 2006. Land use in the southern Yucatan penninsular region of Mexico: Scenario of population and institutional change. *Computer, Environmental and Urban Systems.*, Issue 30, pp. 230-253.
- Mas Causel J.F. y Flamenco Sandoval A. 2011, Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México *GeoTropico*, 5 (1), Artículo 1: 1-24.
- Mas, J. F. y otros, 2014. Inductive pattern-based land use / cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling y Software*, Volumen 51 (2014), pp. 94-111.
- Mas, J.F.; Sorani, V.; Alvarez, R. Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, n. 5, p. 43-57, 1996.
- Masera, O., M. J. Ordoñez y R. Dirzo. 1992. "Emisiones de Carbono a partir de la Deforestación en México". *Ciencia* 43: 151- 153
- Mayra E. Gavito, Angelina Martínez-Yrizar, Raúl Ahedo et al. 2014. La vulnerabilidad del socio-ecosistema de bosque tropical seco de Chamela, Jalisco, al cambio global: un análisis de sus componentes ecológicos y sociales pp. 18

- Miranda, F. y E. Hernández-X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Bol. Soc. Bot. Méx. 28:291-279.
- Moreno Díaz Alonso y Renner Isabel, 2007, Gestión Integral de Cuencas. La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas, Lima, Perú. ISBN: 978-92-9060-297-2, P.236.
- Moreno, A.D. e I. Renner (eds.) 2007. Gestión integral de cuencas, la experiencia del proyecto regional cuencas andinas. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 236 pp.
- Olaya Víctor, Sistemas de Información Geográfica, Rev. 21 de febrero de 2012.
- Paegelow, M. & Camacho Olmedo, M., 2008. *Modelling Environmental Dynamics. Advances in geomatic solutions.* s.l.:Springer, Series: Environmental Science and Engineering.
- Paz, F., Marín, M.I., Medrano, E.R., Ibarra, F., Pascual, F. 2010. Elaboración de mapas multitemporales de bosque, a partir de imágenes LANDSAT, TM y ETM+ y análisis de la degradación forestal y deforestación en Chiapas. Informe final consultoría para Conservación Internacional México A.C.
- Piontekowski, V.; da Silva, S.; Mendoza, E.; de Souza Costa, W.; Ribeiro, F.; Ribeiro, C. 2012. Modelagem do desmatamento para o Estado Acre utilizando o programa DinamicaEGO. Simpósio de Geotecnologias no Pantanal 4: 1064-1075.

PNUMA ANUARIO Avances y progresos científicos en nuestro cambiante medio ambiente 2010.

Priego, Ángel; Cotler, Helena; Fregoso, Alejandra; Luna, Noemí; Enríquez, Carlos
La dinámica ambiental de la cuenca Lerma-Chapala Gaceta Ecológica, núm. 71, marzo-junio, 2004, pp. 23-38 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Distrito Federal, México

Ramírez Mejía Diana Lucero, 2011. Escenarios de cambio de cobertura y uso del suelo en el corredor biológico mesoamericano-México, Tesis de Licenciatura, Morelia, Michoacán, México. 104 P.

Ramírez-Mejía, D.; Cuevas, G.; Mendoza, E. 2011. Escenarios de cambio de cobertura y uso del suelo en el Corredor Biológico Mesoamericano-México.

Rautner, M., Leggett, M., Davis, F., 2013. El Pequeño Libro de las Grandes Causas de la Deforestación, Programa Global Canopy: Oxford.

Rodrigues, H.; Soares-Filho, B.; Costa, W. 2007. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 13: 3089-3096.

Rosales H. Aníbal y García M. Pedro, Mayo, 2015. La degradación de las cuencas hidrográficas, Foro: Seguridad Energética: Amenazas a la Generación Hidroeléctrica en Venezuela. Caracas, Venezuela, pp 1-18.

Rosete, Fernando; Bocco, Gerardo Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales Gaceta Ecológica, núm. 68, julio-septiembre, 2003,

pp. 43-54 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Distrito Federal, México

Rudel, T.K., Schneider, L., Uriarte, M., Turner, B.L., DeFries, R., Lawrence, D., Geoghegan, J., Hecht, S., Ickowitz A., Lambin E.F. et al. 2009. Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970-2005. Proceedings of the National Academy of Science, 106: 20675-20680.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México, 432 p.

SAGARPA 2015, Servicio de Información Agrolimentaria y Pesquera.

Sahagún-Sánchez Francisco Javier y Reyes-Hernández Humberto, 2011. Modelización de escenarios de cambio potencial en la vegetación y el uso de suelo en la Sierra Madre Oriental de San Luis Potosí, México. Journal of Latin American Geography, 10, Conference of Latin Americanist Geographers p.22

SARH. 1992. Inventario Nacional Forestal de Gran Visión. Reporte principal. México, D.F.

Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural

Semarnat. (2013). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. Edición 2012. Recuperado el 14 de julio de 2014 de: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf

SIATL (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrológicas)

SIATL (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrológicas), descarga de red de ríos escala 1:50,000.

Sistema de Consulta de Información Geoestadística Agropecuaria (SCIGA) 2007, Censo Agropecuario.

Soares-Filho, B. y otros, 2004. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, 10(20), pp. 745-764.

Soares-Filho, B., Cerqueira, G. & Pennachin, C., 2002. "DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier.". *Ecological modelling*, 154(3), p. 217 – 235.

Soares-Filho, B.S.; Nepstad, D.; Curran, L.; Voll, E.; Cerqueira, G.; García, R.A.; Ramos, C.A.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, 440, 520-523.

Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.O.; Costa, W.L.S. 2009. Modelamiento de Dinámica Ambiental con Dinamica EGO, Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Brazil. 4 de octubre 2010. Online: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>

Texeira, A. M., Soares-Filho, B. S., Freitas, S. & Metzger, J. P. W., 2009. Modeling Landscape dynamics in the Atlantic Rainforest domain: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, Volumen 257, p. 1219–1230.

Turner , B. L. I., 2002. Toward integrated land-change science: Advances in 1.5 decades of sustained international research on land-use and land-cover

change. En: J. J. C. D. Steffen W, ed. Challenges of a changing Earth: Proceedings of the Global Change Open Science Conference, Amsterdam, The Netherlands. 10–13 July 2001. Berlin Heidelberg: The IGBP Series, Springer, p. 21–26.

Turner II, B.L.; Meyer, W.B.; Skole, D.L.: Global land-use/land cover change: Towards an integrated study. *Ambio* 23, 91–95 (1994)

Velázquez, A., J.F. Mas y J.L. Palacio. 2002. Análisis del cambio de uso del suelo, mapas del análisis del cambio de uso del suelo. Instituto de Geografía, UNAM. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología.

World Vision, Manual de Manejo de Cuencas, Canadá. 107 p.

WWF. 2007. Deforestación en México. WWF México. Bosques mexicanos.