



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**Evaluación del Cambio de Cobertura y Usos del Suelo
en tres municipios de la Mixteca Poblana (Coatzingo,
Cuayuca de Andrade y Zacapala).**

TESIS

Que para obtener el título de

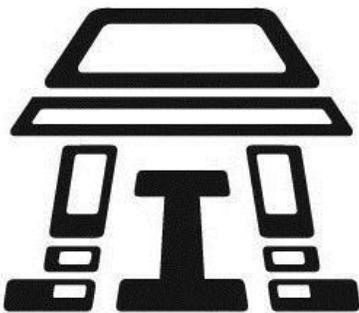
Licenciado en Biología

PRESENTA

Víctor Martínez Torres

DIRECTORA DE TESIS:

M. en C. Mayra Mónica Hernández Moreno



Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México., 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Resumen

Los cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS) representan una de las causas del deterioro ambiental, por esto las investigaciones en esta área han estado aumentando, ya que permiten comprender los componentes de este proceso. La Mixteca Poblana provee un conjunto de bienes y servicios ambientales ofrecidos por la cobertura vegetal, que lamentablemente se está perdiendo debido, entre otras causas, al mal manejo y aprovechamiento de los recursos naturales. En este trabajo se evaluaron los CCUS en el periodo 1994-2015 de los municipios de Coatzingo, Cuayuca de Andrade y Zacapala, en el Estado de Puebla, a partir de la interpretación de imágenes satelitales. Se emplearon 4 imágenes Landsat que fueron calibradas con el método DOS, con las cuales, se elaboraron los mapas de cobertura usando el algoritmo de máxima probabilidad. La detección de los cambios de los mapas, se realizó a través de la sobreposición digital (cruzamiento) que revela los cambios en una matriz, y por último, se estimó la tasa de cambio para conocer la dinámica. Se encontró que el área de estudio está dominada por selva baja caducifolia (62.80%); los cambios de cobertura identificados son: pérdida de selva baja caducifolia (-5602.46 ha) y bosque de encino (-109.95) y ganancias de la vegetación secundaria (2922.57 ha), zona de cultivo de riego (964.93 ha), suelo desnudo (32.24 ha), pastizales (182.66 ha) y los asentamientos humanos (102.72 ha). Los principales cambios identificados fueron el aumento en un 5.42% de la superficie ocupada por la vegetación secundaria y la disminución en un 10.40% de las zonas donde se distribuye la selva baja caducifolia. Las tasas de cambio presentaron diferencias significativas para cada tipo de cobertura, lo que se relaciona con procesos de conversión y modificación de la cobertura vegetal como consecuencia de la dinámica social y económica de la región.

INDICE

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. General.....	5
1.3.2. Particulares.....	5
2. Marco Teórico.....	6
2.1. Cambio de cobertura y usos de suelo.....	6
2.2. importancia del análisis de cambio de cobertura y uso del suelo.....	7
2.3. Teledetección.....	8
2.4. Sistemas de información geográficos (SIG).....	8
3. Área de estudio.....	10
3.1. Tipos de clima.....	11
3.2. Geología.....	12
3.3. Hidrografía.....	13
3.4. Edafología.....	14
3.5. Tipos de vegetación.....	15
4. Materiales y Métodos.....	17

4.1.	Obtención y Procesamiento de imágenes de imágenes de Satélite.....	17
4.2.	Elaboración de mapa de cobertura y uso para el periodo 1994-2015.....	18
4.3.	Detección de cambios de la cobertura y uso del suelo.....	19
4.4.	Modelo de Flujos de cambios.....	21
4.5.	Tasa de cambio de uso de suelo.....	22
5.	Resultados.....	23
5.1.	Tipos de Cobertura y usos del suelo.....	23
5.1.1.	Cobertura y usos de suelo en el año 1994.....	23
5.1.2.	Cobertura y usos de suelo en el año 2000.....	24
5.1.3.	Cobertura y usos de suelo en el año 2005.....	25
5.1.4.	Cobertura y usos de suelo en el año 2015.....	26
5.2.	Detección de cambios de la cobertura y uso del suelo.....	27
5.2.1.	Cambios de 1994 a 2000.....	28
5.2.1.1.	Intercambios del periodo 1994-2000.....	29
5.2.1.2.	Cambios netos del periodo 1994-2000.....	30
5.2.1.3.	Cambios totales del periodo 1994-2000.....	31

5.2.1.4.	Flujo de Cambios del periodo 1994-2000.....	32
5.2.2.	Cambios de 2000 al 2005.....	34
5.2.2.1.	Intercambios del periodo 2000-2005.....	35
5.2.2.2.	Cambios netos del periodo 2000-2005.....	36
5.2.2.3.	Cambios totales del periodo 2000-2005.....	37
5.2.2.4.	Flujo de Cambios del periodo 2000-2005.....	37
5.2.3.	Cambios de 2005 a 2015.....	39
5.2.3.1.	Intercambios del periodo 2005-2015.....	41
5.2.3.2.	Cambios netos del periodo 2005-2015.....	41
5.2.3.3.	Cambios totales del periodo 2005-2015.....	42
5.2.3.4.	Flujo de Cambios del periodo 2005-2015.....	43
5.3.	Tasa de cambio.....	44
6.	Discusión.....	47
7.	Conclusión.....	51
8.	Citas bibliográficas.....	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio (INEGI, 2009 a, b, c).....	10
Figura 2. Unidades Climáticas del área de estudio.....	11
Figura 3. Geología.....	13
Figura 4. Hidrología.....	14
Figura 5. Edafología.....	15
Figura 6. Cobertura y uso de suelo para el año 1994.....	24
Figura 7. Cobertura y uso de suelo para el año 2000.....	25
Figura 8. Cobertura y uso de suelo para el año 2005.....	26
Figura 9. Cobertura y uso de suelo para el año 2015.....	27
Figura 10. . Porcentaje de superficie de cada tipo de cobertura y uso del suelo para cada época evaluada.....	28
Figura 11. Mapa de Cambios en la temporada 1994-2000.....	29
Figura 12. Intercambios en el periodo 1994-2000.....	30
Figura 13. Cambio neto del periodo 1994-2000.....	31
Figura 14. Cambio total para el periodo 1994-2000.....	32
Figura 15. Modelo de cambio de uso de suelo en el área estudio en el periodo 1994-2000.....	33
Figura 16. Mapa de Cambios en la temporada 2000-2005.....	34
Figura 17. Intercambios en el periodo 2000-2005.....	35
Figura 18. Cambio neto del periodo 2000-2005.....	36
Figura 19. Cambio total del periodo 2000-2005.....	37
Figura 20. Modelo de cambio de uso de suelo en el área estudio en el periodo 2000-2005.....	39
Figura 21. Mapa de Cambios en la temporada 2005-2015.....	40

Figura 22. Intercambio del periodo 2005-2015.....	41
Figura 23.Cambio neto del periodo 2005-2015.....	42
Figura 24. Cambio total del periodo 2005-2015.....	42
Figura 25. Modelo de cambio de uso de suelo en el área estudio en el periodo 2005-2015.....	44
Figura 26. Tasas de Cambios de las tres temporadas.....	45

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Matriz de tabulación cruzada para comparar dos tiempos con estimación de pérdidas y ganancias (Pontius <i>et al.</i>, 2004).....	20
Cuadro 2. Clases de cobertura y uso del suelo y vegetación.....	23
Cuadro 3. Matriz de cambios del periodo 1994-2000 expresada en Hectáreas.....	29
Cuadro 4. Matriz de cambios del periodo 2000-2005 expresada en Hectáreas	34
Cuadro 5. Matriz de cambios del periodo 2005-2015 expresada en Hectáreas	40

1. Introducción

Los ecosistemas son el conjunto de interacciones de los seres vivos (biocenosis) dentro de su medio físico (biotopo) y al existir estas relaciones complejas existen flujos de energía que permiten el equilibrio entre el biotopo y la biocenosis que operan como un sistema interdependiente, por lo que si una parte es alterada puede haber un impacto en el sistema completo (Berberon, 2011).

Los ecosistemas juegan un papel importante para la humanidad debido a que son el sustento de las poblaciones, pues ofrecen servicios ecosistémicos (SEMARNAT, 2012). Sin embargo, debido a su aprovechamiento y uso, sufren de alteraciones provocadas por factores meteorológicos y antropogénicos (Velázquez *et al.*, 2002). Estos causan la transformación de la cobertura y el uso del suelo (CCUS).

El CCUS se define a partir de las transformaciones o recambio en los componentes que se encuentran en un área o terreno, sean de carácter natural o artificial. Entre los factores naturales se encuentra el proceso de sucesión secundaria, las variaciones climáticas, erupciones volcánicas, huracanes, etc. En contraste, entre los antropogénicos se encuentran los factores demográficos, sociales y económicos, entre otros (Lambin *et al.*, 2001). La interconexión de estos procesos altera las condiciones del ecosistema, así como su función ecológica, social o económica (Bhagawart, 2011). No obstante, los componentes demográficos y económicos, en particular la relación entre el

incremento poblacional y la expansión de la frontera agropecuaria, se han considerado como una de las principales fuerzas modificadoras del paisaje (SEMARNAT, 2012).

Los factores naturales y antropogénicos que operan para provocar el CCUS operan a diferente escala y tiempo, por lo que su análisis se realiza en estas dimensiones, a fin de categorizar y resumir con mayor precisión la relación que guarda el hombre con su medio (Bocco *et al.*, 2009).

La Mixteca poblana es una región, constituida por 47 municipios. Esta región tiene una alta diversidad biológica y cultural, por lo que cuenta con una gran variedad de recursos naturales que pueden ser aprovechados. Sin embargo, al existir altos niveles de pobreza y marginación, asociados a la falta de apoyos gubernamentales y de planes de manejo, se ha propiciado que el fenómeno del CCUS se extienda en su territorio (Villareal-Espino *et al.*, 2011). En particular los municipios de Coatzingo, Cuayuca de Andrade y Zacapala, en el Estado de Puebla, se encuentran en la parte centro-norte de la Mixteca Poblana, que de acuerdo con el INEGI (2009 a, b, c) presentan un alto grado de marginación debido a que no cuentan con planes de manejo para todas sus localidades. En este sentido, se propone realizar un estudio de cambio de cobertura y uso de suelo en Coatzingo, Cuayuca de Andrade y Zacapala. Este estudio permitirá conocer y entender los cambios temporales de la distribución espacial de sus recursos naturales para poder tomar decisiones sobre el manejo y conservación de estos.

1.1. Antecedentes

Los estudios sobre los procesos de CCUS se encuentran en el centro de atención de la investigación ambiental desde hace ya casi dos décadas (Bocco *et al.*, 2001), Bajo este contexto, la FAO (2010) estima a escala mundial, la existencia de aproximadamente cuatro mil millones de hectáreas de bosques, con una tasa de deforestación de 13 millones de ha/año. En México, la deforestación y el CCUS son problemas que se han presentado desde tiempos precolombinos (Nájera *et al.*, 2010). Aunque, el ritmo neto de pérdida durante los últimos diez años, ha disminuido con respecto a la década anterior (1990-2000: 8.3 millones de hectáreas por año, a una tasa de 0.2% anual), la pérdida sigue siendo alta; para el periodo 2000-2005 se calculó una pérdida de 4.8 millones de hectáreas anuales (al 0.12% anual) y para 2005-2010 se elevó a cerca de 5.6 millones (al 0.14% anual) (FAO, 2010; SEMARNAT, 2012).

La selva baja caducifolia es el ecosistema tropical de mayor extensión mundial (42%), y en México representa aproximadamente el 60% de su cobertura vegetal. Sin embargo, aproximadamente el 30% de estas selvas presenta algún tipo de perturbación (García *et al.*, 2005). En ese sentido, el análisis del CCUS constituye un instrumento eficaz para el manejo de los recursos naturales debido a que brinda el panorama del escenario analizado y generando información básica para su utilización en o en la toma de decisiones por las organizaciones, gobiernos y organismos responsables de un determinado territorio, que puede ser empleado para el desarrollo de planes, programas o proyectos económicos, sociales y políticos, como son el análisis de

la distribución del crecimiento poblacional, la construcción de infraestructura, el análisis de actividades económicas potencial (Nájera *et al.*, 2010), así como para entender el impacto que todas estas actividades tienen sobre los servicios ecosistémicos.

1.2. Justificación

La Mixteca poblana es una región muy diversa en los ámbitos biológico, social y cultural; sin embargo, presenta, condiciones de marginación y pobreza entre sus comunidades, lo que genera escenarios de búsqueda de alternativas de planificación en el ámbito del manejo de ecosistemas. En este sentido, el Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano (UNAM, 2008), planteó desde entonces generar, “a través del trabajo de investigación participativa e interdisciplinaria, una red de investigación enfocada al manejo sustentable de los ecosistemas que genere modelos de ordenamiento, conservación, uso y restauración de los valores, los recursos y los servicios ambientales”. Bajo ese contexto, siendo la Mixteca Poblana una de las zonas de trabajo del Macropoyecto, es necesario “tomar medidas para contrarrestar el efecto de la pérdida de la cobertura del terreno”. Para ello, en primera instancia, se busca “la recuperación de las estrategias de planificación del uso del terreno, por lo cual es indispensable realizar estudios que reflejen la situación actual del estado de la cobertura del terreno y analizarlo a través del tiempo. Lo anterior, se realiza bajo el enfoque del manejo de ecosistemas, que busca un mejor entendimiento de las interacciones y los procesos ecológicos, así como de las reglas de interacción social y los procesos de cooperación”.

Por ello, conocer, identificar y evaluar el cambio de cobertura y uso del suelo en los municipios de Coatzingo, Cuayuca de Andrade y Zacapala, Puebla, permitirá identificar el efecto de este fenómeno en la región de la Mixteca Poblana.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Evaluar el cambio de cobertura y uso del suelo en el periodo 1994-2015 en tres municipios de la Mixteca Poblana (Coatzingo, Cuayuca de Andrade y Zacapala).

1.3.2. Particulares

- Determinar los tipos de cobertura y uso de suelo de la región, en el periodo referido.
- Identificar los cambios de cobertura que se han registrado en el territorio.
- Calcular la tasa de cambio de cobertura y uso del suelo que se ha presentado en la zona.

2. Marco teórico

2.1. Cambio de cobertura y uso del suelo

La cobertura del suelo es la descripción del material físico en la superficie de la Tierra, diferenciándose así del término "uso de suelo", el cual está definido como las actividades humanas asignadas en un territorio (Conabio, 2017, Bocco *et al.*, 2001). Estos conceptos interactúan para determinar el uso del suelo y la dirección del cambio de cobertura del suelo.

Los cambios de cobertura se pueden definir como variaciones del paisaje causadas por factores antropogénicos y por procesos naturales. El primero se produce por actividades humanas que afectan los flujos energéticos de los ecosistemas, modificando y alterando la estructura del paisaje, trayendo como consecuencia variaciones bióticas y abióticas (Lambin *et al.*, 2003). El segundo es consecuencia de factores naturales como la sucesión secundaria, variaciones climáticas, erupciones volcánicas, huracanes, etc (Lambin *et al.*, 2001).

Los cambios de cobertura y uso de suelo se deben principalmente a la conversión y a la modificación del suelo. La conversión (paso de bosque a cultivo) se entiende como el cambio visible de un tipo de cobertura o uso a otro y la modificación (densidad de árboles de un bosque) como el mantenimiento del tipo de cobertura o uso, pero con cambio en sus atributos, produciendo alteraciones significativas en su estructura fisionómica o funcionalidad (Álvarez *et al.* 2015, Lambin *et al.*, 1997). Estos procesos, usualmente englobados en lo

que se conoce como deforestación o degradación forestal, se asocian con impactos ecológicos importantes a todas las escalas. Localmente inducen la pérdida y degradación de suelos, cambios en el microclima y pérdida en la diversidad de especies (Bocco *et al.*, 2001).

2.2. Importancia del análisis de cobertura y uso de suelo

La importancia de utilizar el análisis de cobertura y uso de suelo (ACCUS) permite caracterizar una región y diagnosticar el territorio (Lambin *et al.*, 2001). Es una herramienta que puede evaluar varios componentes del territorio y con ello tratar de entender la relación entre dichas unidades (Jardel *et al.*, 2008).

El ACCUS consiste en la elaboración de mapas de la distribución espacial de la cobertura de suelo en distintos periodos de un área específica, con los cuales se determinan los cambios en el uso del suelo y pueden ser representados cartográficamente, de manera que se identifique dónde han ocurrido los cambios, y reportar estadísticas sobre el área de pérdida y ganancia en las transiciones entre los tipos de cobertura del suelo. Una forma de lograr esto es por medio de insumos de Teledetección (usualmente fotografías aéreas e imágenes de satélite) y sistemas de información geográfica.

2.3. Teledetección

La teledetección se define como el conjunto de conocimientos y técnicas utilizados para determinar características físicas y biológicas de objetos, mediante mediciones a distancia, sin el contacto material con los mismos (Lillesand *et al.*, 2004). Sin embargo, de un modo más restringido, y en el ámbito de las ciencias de la Tierra, la teledetección es entendida como una técnica que tiene por objeto la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales (Chuvieco, 2007). Esta tecnología juega un papel muy importante en los estudios ambientales debido a que permiten entender la dinámica espacial y brinda elementos para la planificación (Chuvieco y Vargas, 2002).

2.4. Sistemas de información geográficos (SIG)

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas que junto con la teledetección permiten la captura, observación y monitoreo de los recursos naturales. Se definen como un sistema de hardware, software y procedimientos que facilitan la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (FAO, 2006).

De acuerdo con FAO (2006), los SIG están integrados de cinco componentes principales los cuales son:

- Hardware: que son las computadoras donde operan los SIG

- Software: que son los programas que proveen las funciones y herramientas para la manipulación del SIG
- Los datos: objetos abstraídos del espacio geográfico real; pueden corresponder con elementos de la naturaleza, con elementos producto de la mano del hombre, como la infraestructura urbana o industrial; o a meras abstracciones numéricas derivadas del tratamiento de cifras relacionadas con aquellos objetos o entidades (INEGI, 2003).
- Recursos humanos: personal adecuado que opera, desarrolla y administra el sistema, y lleva a cabo los planes de desarrollo para aplicarlos a los problemas del mundo real
- Métodos y Procedimientos: planes y procesos diseñados con estrategias articuladas acorde a los problemas espaciales que se quieran responder tanto de tipo vectorial o raster (georreferenciación, ortorrectificación, algebra de mapas, modelación de escenarios, etc.).

Los SIG son herramientas que sirven para crear y manipular datos geográficos. Estos datos pueden ser abióticos, bióticos, socioeconómicos y culturales. Estos pueden cumplir distintas funciones dependiendo del problema a resolver, entre ellas se encuentran la entrada, visualización y gestión de los datos, así como su análisis.

3.1. Tipos de climas

El área de estudio presenta 4 unidades climáticas (Figura 2): 1) Cálido sub-húmedo con lluvias en verano (Awo), que se presenta en 39 073.84 ha, 2) semicálido sub-húmedo con lluvias en verano (A(C) w0(W)), con 12 444.94 ha, 3) templado subhúmedo con lluvias en verano (C(W0)(W)) con 4224.4 ha, 4) semiseco muy cálido (BS1(h´)w(w)), con 337.79 ha.

La temperatura media anual para los municipios de Coatzingo y Cuayucan de Andrade es de 20 a 24°C y para el municipio de Zacapala es de 13 a 24°C. La precipitación anual varía de 500 a 900 mm en los municipios de Coatzingo y Cuayuca de Andrade y para el municipio de Zacapala es de 600 a 800 m (INEGI, 2009 a, b c, H. Ayuntamiento de Zacapala y Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable, 2008-2011).

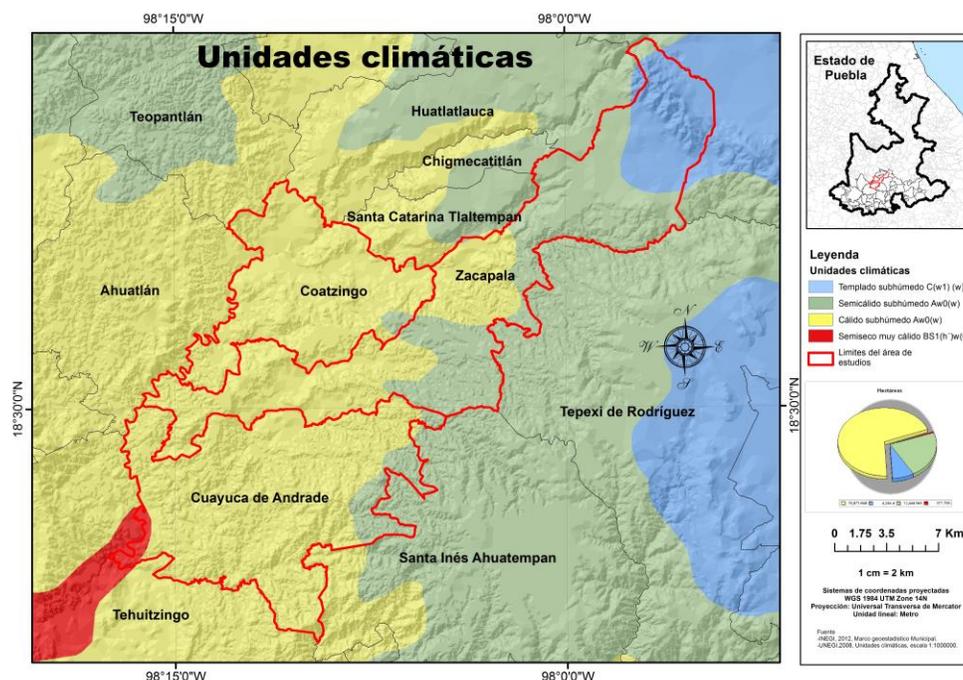


Figura 2. Unidades Climáticas del área de estudio.

3.2. Geología

El área de estudio se compone de siete tipos de roca los cuales son: 1) Ígnea extrusiva ácida (557.79 ha), este tipo de roca se localiza en la parte suroeste de Cuayuca de Andrade. 2) Sedimentaria: calizas (2737.28 ha) presentes en la parte noroeste de Zacapala, y caliche (1521.66 ha) restringida a la parte central de Zacapala y en Coatzingo. 3) Conglomerado (3473.46 ha), confinado en la parte noreste y en la parte sureste de Zacapala, Coatzingo y Cuayuca; 4) Limolita-arenisca (3932.15 ha) presente en la parte central de Zacapala y en la parte norte de Cuayuca de Andrad.; 5) Metamórficas: Esquistos (22898.78 ha) presentes en la mayor parte de Cuayuca de Andrade y en la parte centro-sur de Zacapala. 7) Metasedimentaria (16994.04 ha), que se distribuyen en el 93.69% de Coatzingo y el 23.10% de la parte centro-norte de Zacapala. El 16.41% son suelos sin ninguna categoría, y se localiza en la parte norte-este de Zacapala (Figura3, INEGI, 2009 a, b, c).

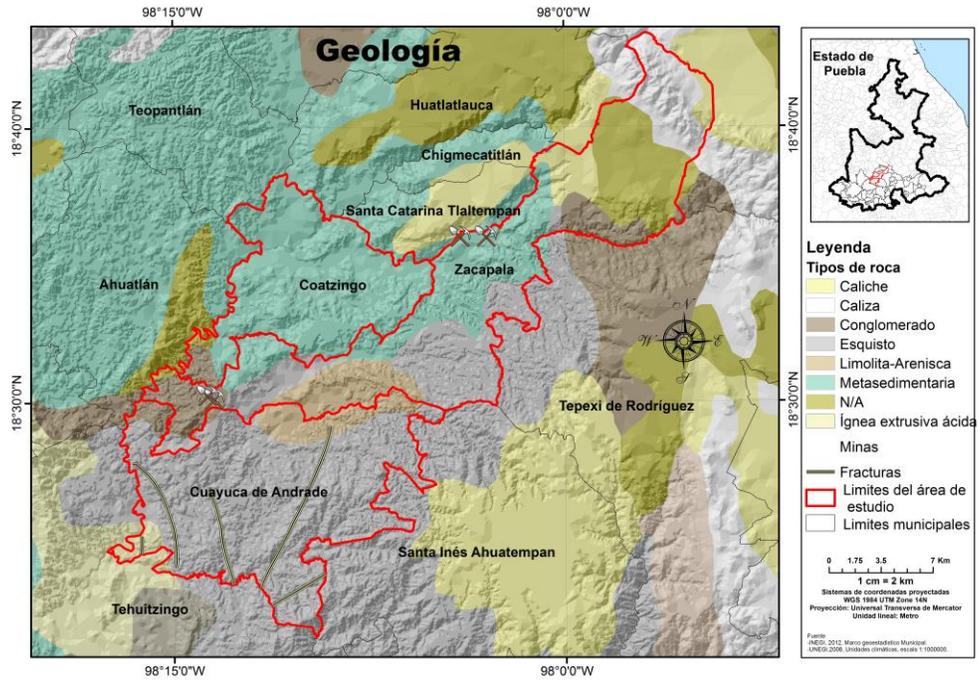


Figura 3. Tipos de roca del área de estudio.

3.3. Hidrografía

Los municipios se encuentran en la Región Hidrológica del Balsas (RHA), en la cuenca del río Atoyac. Particularmente el área de estudio pertenece a dos subcuencas la del río Atoyac-Tehuiztingo (RHAa) que abarca el 60.67% del área y el río Atoyac-Balcón del Diablo (RHAb) que comprende el 39.32% de la zona.

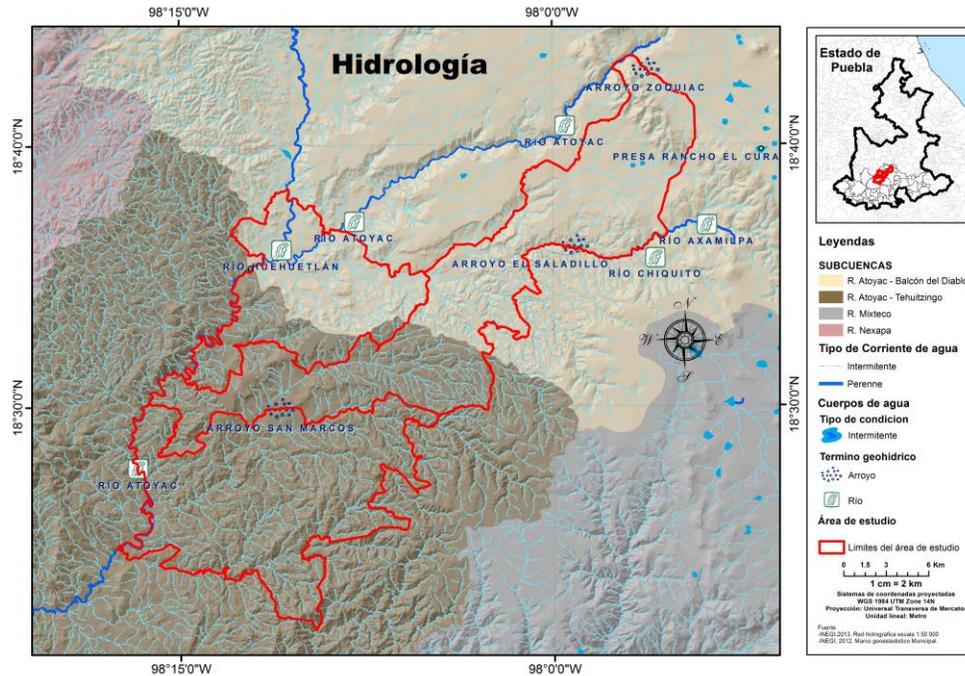


Figura 4. Hidrografía del área de estudio.

3.4. Edafología

El área de estudio presenta siete tipos de suelos, 1) Leptosol, con el 80.2% de superficie de área des estudio, 2) Kastañozem, con el 6.97%, presente en la parte norte-centro de Zacapala y en la parte noroeste de Coatzingo; 3) Vertisol con el 6.8% localizado en la parte noreste de Zacapala, 4) Phaozem con el 4.3%, encontrándose en la parte centro-oeste de Zacapala y en los límites entre Cuayuca de Andrade y Coatzingo; 5) Regosol, 6) Fluvisol y 7) Cambisol, de los cuales el primero cubre una superficie de 1.27% del área y se ubica en la parte noroeste de Coatzingo, el segundo con 0.24% situado en el noreste de Zacapala y el tercero con el 0.15% en la porción norte de Coatzingo.

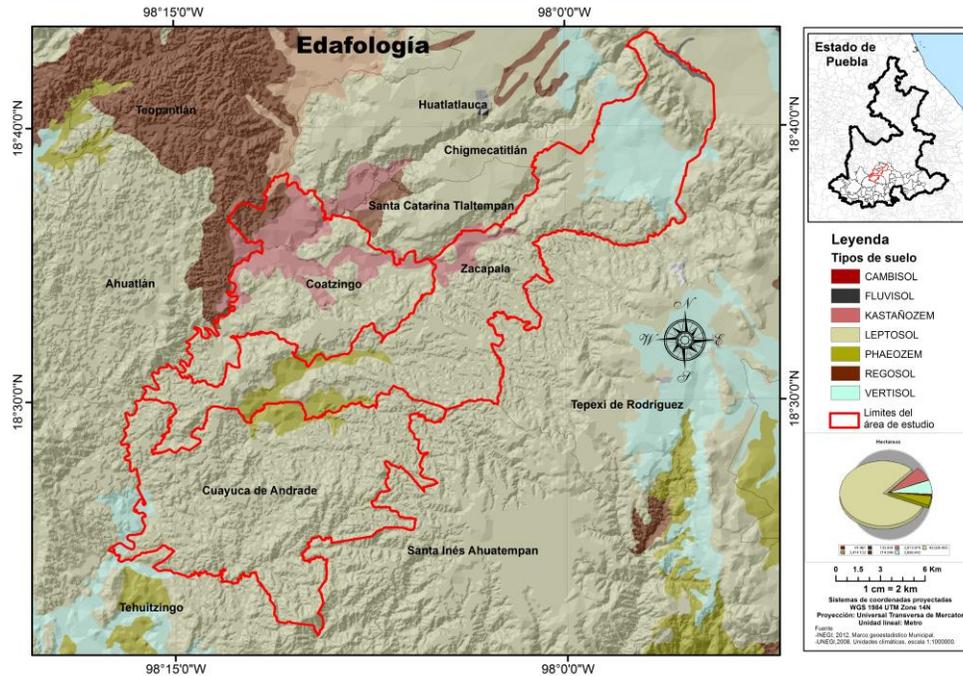


Figura 5. Tipos de suelo del área de estudio.

3.5. Tipos de vegetación

Los tipos de vegetación dominantes son la selva baja caducifolia que abarca el 65% del terreno y está dominada por árboles pequeños que pierden sus hojas durante la época seca. Tiene una gran cantidad de especies endémicas del género *Bursera spp.*, además de otras especies tales como: Chupandía (*Cyrtocarpa procera*), Tepeguaje (*Lysiloma spp.*), Bonete (*Jacaratia mexicana*), Cazahuate (*Ipomoea spp.*), Amapola (*Pseudobombax palmeri*), Colorín (*Erythrina spp.*) y Pochote (*Ceiba aesculifolia*). Un componente acorde muy vistoso y característico de la zona, son las enormes cactáceas incluyendo los Tetechos (*Neobuxbaumia spp.*), Candelabros (*Pachycereus spp.*) y varias especies del género *Stenocereus* y la Jiotilla o Quiotilla (*Escontria chiotilla*) (Guízar *et al.*, 2010).

Un segundo tipo de vegetación es el pastizal que abarca el 8% del territorio municipal y que está constituido por comunidades herbáceas en las que predominan las gramíneas y otras herbáceas, que, en algunos casos son de origen natural, pero en otros, obedecen a condiciones de perturbación por sobrepastoreo.

También se presenta el bosque de encino que abarca el 2% del territorio. Es una comunidad vegetal constituida por el género *Quercus* (encinos, robles) que en México, salvo condiciones muy áridas, se encuentran prácticamente desde el nivel del mar, hasta los 2 800 msnm (INEGI, 2009 a, b).

4. Materiales y métodos

4.1. Obtención y Procesamiento de imágenes de imágenes de Satélite

Se utilizaron 4 imágenes satelitales Landsat, una del sensor Thematic Mapper (TM) de mayo de 1995, dos del Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) de mayo del 2000 y abril del 2005, y la última del sensor Operational Land Imager (OLI) de abril de 2015 con una resolución espacial de 30 metros, en un sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM).

La imagen de abril del 2005 perteneciente al sensor ETM-SLC-off sufrió fallas en su sistema Scan Line Corrector (SLC) en el año 2003, por lo que se hizo una corrección del bandeo utilizando el software ENVI 5.1, con la técnica Landsat Gapfill que realiza una interpolación espectral a través de las brechas en la imagen (Maxwell *et al.*, 2007).

Para todas las imágenes de Satélite se realizó su corrección radiométrica con el fin de facilitar la interpretación, empleando el método de calibración Dark Object Substraction (DOS) con el software ENVI 5.1. Esta técnica consiste en estimar la radiancia dispersada por la atmósfera hacia el sensor, asumiendo que en la imagen hay algunos píxeles que son completamente oscuros y su radiancia se debe enteramente a la radiación reflejada hacia el sensor por la dispersión de la atmósfera. La estrategia consiste en buscar en la imagen determinados cuerpos que en teoría deben ser oscuros, se registra su número digital y luego se sustrae este valor a todos los píxeles de la imagen. Este proceso se debe realizar para

cada banda ya que el número digital del objeto negro es diferente para cada una de estas (Chávez, 1998).

4.2.Elaboración de los mapas de cobertura y uso del suelo para el período 1995-2012

Para elaborar los mapas de cobertura y uso del suelo se emplearon las cuatro imágenes de satélite calibradas. Los mapas de cobertura y uso del suelo se obtuvieron a partir del algoritmo de máxima probabilidad. Este método considera que la reflectancia de cada categoría se ajusta a una distribución normal. Esto nos permite describir esa categoría por una función de probabilidad, a partir de su vector de medias y matriz de varianza-covarianza (Chuvieco, 2002). El método se fundamenta en calcular la probabilidad de que un determinado píxel pertenezca a una categoría. El cálculo se realiza para todas las categorías definidas y el píxel se clasifica en la clase a la cual tenga más probabilidad de pertenecer. Este clasificador es el más complejo y, por lo tanto, el que mayor volumen de cálculo requiere, pero también es el más robusto y fiable, ya que se ajusta fielmente a la distribución original de los datos (Chuvieco y Vargas, 2002).

Para las cuatro imágenes se definieron ocho clases de CUS, que fueron empleadas en la etapa de entrenamiento. Para la interpretación de las imágenes se utilizaron seis ortofotos digitales escala 1:50,000 proporcionadas por INEGI (1995), imágenes de Google Earth, compuestos de falso color con las bandas 543 y 742 (RGB) empleados como auxiliares, cartografía de uso del suelo y vegetación

de la serie IV de INEGI (2009d, escala 1:250,000), el Continuo de Elevación Mexicano elaborado por INEGI (2013), escala 1:50,000 y datos de campo.

Para tener una extensión real de los asentamientos humanos se digitalizaron los polígonos que los representan directamente sobre las imágenes, pues al clasificar las imágenes mostraron sobrevaloraciones en extensión de su superficie, ya que incluían áreas con suelos desnudos. Para separar estas coberturas se sobrepuso la capa de asentamientos humanos con el mapa obtenido en la clasificación, y así separar la clase de los suelos desnudos.

Por último, se mejoró la calidad de todas las coberturas empleando una modificación de la técnica de clasificación visual interdependiente propuesta por la FAO (2001), que consiste en que los polígonos de la primera fecha sirvieron de referencia para interpretar y mejorar las coberturas en las imágenes de las demás fechas, con lo que se evita la sobreestimación o la identificación de falsos cambios.

4.3. Detección de cambios de la cobertura y uso del suelo

A partir de los mapas de CUS de cada época, se realizó una sobreposición digital (cruzamiento) para saber qué clases presentaron cambios por modificación o por conversión (Lambin *et al.*, 2001; Pontius *et al.*, 2004). Para ello se reclasificaron los mapas en valores binarios de 0 y 1 y utilizando la herramienta álgebra de mapas del Software ArcGis 10.2.2., se sumaron las coberturas. Los resultados obtenidos del cruzamiento de los mapas fueron: “0” que representa las

zonas que no presentaron cambios de cobertura, “1” que corresponde a las clases que mostraron un cambio de la cobertura y “2” a las áreas de permanencia en la misma clase. Adicionalmente se calculó el área de cada una de estas clases de cada época analizada. Con estos resultados se construyó la matriz de cambios, similar a la que se presenta en el Cuadro 1 (Coppin *et al.*, 2004, Pontius *et al.*, 2004), en donde la diagonal muestra la cantidad total de paisaje estable entre una fecha y otra, mientras que fuera de la diagonal se encuentran las transiciones entre clases (Pineda *et al.*, 2009).

Cuadro 1. Matriz de tabulación cruzada para comparar dos tiempos con estimación de pérdidas y ganancias (Pontius *et al.*, 2004).

Tiempo1/ Tiempo 2	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Total1	Pérdidas (Lij)
Categoría 1	P11	P12	P13	P14	P1+	(P1+)-(P11)
Categoría 2	P21	P22	P23	P24	P2+	(P2+)-(P22)
Categoría 3	P31	P33	P33	P34	P3+	(P3+)-(P33)
Categoría 4	P41	P44	P43	P44	P4+	(P4+)-(P44)
Total 2	P+1	P+2	P+3	P+4	Total	
Ganancia (Gij)	(P+1)-(P11)	(P+2)- (P22)	(P+3)-(P33)	(P+4)-(P44)		

P= Categoría o Cobertura; Lij= Perdidas; Gij= Ganancias

También se calcularon las pérdidas (Lij), que son la diferencia entre la fila del total del tiempo 1 (Pj+) y la persistencia (Pij) y muestran la disminución de superficie de cada categoría entre t1 y t2. Otro indicador de cambio que también se calculó, fue la ganancia (Gij) que se obtiene por la diferencia entre la columna del total del tiempo 2 (P+j) y la persistencia (Pij), también muestra la superficie de cada una de las categorías j que sufrieron ganancia entre el t1 y t2.

Dado que la sobreposición de mapas temáticos de dos fechas permite explicar los cambios de ocupación del suelo, su comparación permite calcular la

superficie y localizar los cambios, aunque no proporcionan información detallada sobre los procesos de cambio.

En ese sentido, los procesos de tabulación cruzada permiten identificar los cambios netos de cada categoría (D_j), los intercambios (S_j) y la suma de lo anterior representa el cambio total (C_j).

$$C_j = D_j + S_j$$

El cambio neto para cada categoría (D_j), se define como el valor absoluto de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría.

$$D_j = (L_{ij} - G_{ij})$$

El intercambio entre categorías (S_j), se calcula como dos veces el valor mínimo de la ganancias G_{ij} y las pérdidas L_{ij} .

$$S_j = 2 \times \text{MIN} (P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj})$$

4.4. Modelo de Flujos de cambios

También se obtuvieron los modelos de flujos de cambio para cada periodo, los cuales se expresan en porcentajes de las superficies de cambio y el tipo de uso asociado a estos cambios. Esto se calcula empelando la transición de la clase por cien entre el total 2 de la clase a la que se está aportando (Sandoval y Oyarzun, 2004).

4.5. Tasa de cambio de uso de suelo

Para la evaluación del CCUS es necesario estimar la tasa de cambio como medio para conocer la dinámica y magnitud del mismo (Lambin *et al.*, 2001); con esta información es posible tomar decisiones en el manejo de los ecosistemas. La mejor forma de cuantificar este proceso, es mediante el análisis de la dinámica de la cubierta vegetal relacionándola con el espacio y calculando la tasa de cambio que es un indicador de presión que permite conocer la magnitud y la velocidad con que se está presentando este proceso. La FAO (1996) propone la siguiente fórmula que expresa el cambio en porcentaje de la superficie del año final con respecto al inicial:

$$t = [((S2/S1)^{(1/n)}) - 1] * 100$$

Donde:

t = tasa de cambios

S1 = superficie de esa clase de uso en la fecha 1 en ha

S2 = superficie de esa clase de uso en la fecha 2 en ha

n = diferencia de años entre una fecha y otra.

5. Resultados

5.1. Tipos de Cobertura y Uso del suelo

Los tipos de coberturas presentes en el área de estudio que se registraron son los siguientes: selva baja caducifolia, bosque de encino, asociaciones secundarias, pastizal, agricultura de temporal, agricultura de riego, asentamientos humanos y suelos desnudos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clases de cobertura y uso del suelo y vegetación

Cobertura	Abreviación	Uso
Selva baja caducifolia	SBC	Forestal, extractivo, pecuario
Bosque de encino	BE	Forestal, pecuario
Vegetación secundaria	VS	Pecuario. Extractivo
Pastizal inducido	PA	Pecuario
Zona de cultivos temporal	ZCT	Agrícola
Zona de cultivo de riego	ZCR	Agrícola
Asentamientos Humanos	AH	Vivienda
Suelo desnudo	SD	Extractivo, sin uso

5.1.1. Cobertura y usos de suelo en el año 1994

En 1994 la cobertura con mayor superficie promedio fue la selva baja caducifolia que corresponde al 73.20% (39443.88 ha) del territorio, este tipo de vegetación se encontraba distribuida en toda el área de estudio, al igual que la zona de cultivo de temporal que contaba con una superficie del 16.46% (8867.25 ha). Las coberturas que presentaron menor superficie fueron la zona de cultivo de riego con el 3.25% (1753.09 ha), que en mayor media, se encontraba localizada en el municipio de Coatzingo, la vegetación secundaria, con el 8.33% (4490.99 ha), se presentaba principalmente en la parte centro-sur de Zacapala. El pastizal inducido con el 1.83% (986.88 ha), el bosque de encino con el 1.68% (906.80 ha),

los asentamientos humanos con el 0.48% (248.34 ha) y el suelo desnudo con el 0.21% (110.99 ha), resultaron las coberturas de menor superficie (Figura 6 y 10).

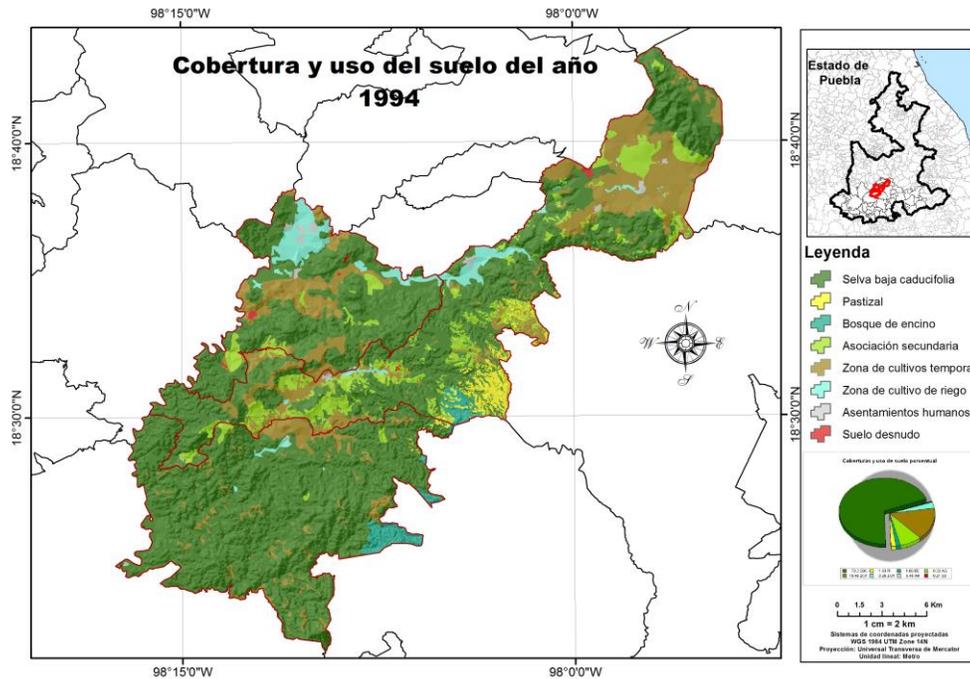


Figura 6. Tipos de cobertura y uso de suelo para el año 1994.

5.1.2. Cobertura y usos de suelo en el año 2000

El mapa de cobertura y uso de suelo del 2000 mantuvo 8 tipos de cobertura, igual que en 1994. La selva baja caducifolia fue también la cobertura con mayor extensión con el 66.15% (35643.91 ha), seguido de la zona de cultivo temporal con el 17.01% (834.39), la vegetación secundaria con el 6.72% (3622.62 ha), la zona de cultivo de riego con el 4.23% (2279.91 ha), y el pastizal inducido con el 2.97% (1600.12 ha). Las coberturas que presentaron menor superficie fueron el bosque de encino con el 1.55% (834.39 ha), el suelo desnudo con 0.90% (485.43 ha) y los asentamientos humanos con el 0.47% (Figuras 7 y 10).

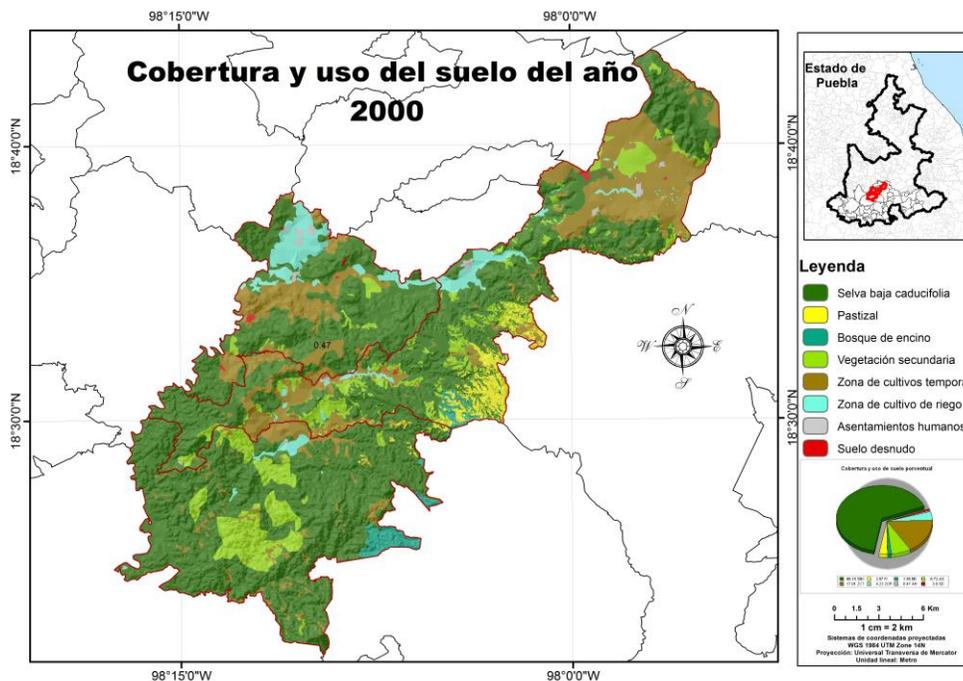


Figura 7. Tipos de Cobertura y uso de suelo para el año 2000.

5.1.3. Cobertura y usos de suelo en el año 2005

En 2005 la selva baja caducifolia cubrió el 63.81% (3482.85 ha) de la zona de estudio, los cultivos de temporal el 15.14% (8156.96 ha), la vegetación secundaria el 10.03% (5402.63 ha), la zona de cultivo de riego el 4.74% (2551.55 ha) y el pastizal inducido el 3.20% (1722.25 ha). Las coberturas que presentaron el menor porcentaje en la zona fueron: los asentamientos humanos con el 0.65% (507.48 ha), el suelo desnudo con 0.94% (351.06 ha) y el bosque de encino con 1.50 % (810.81 ha) (Figuras 8 y 10).

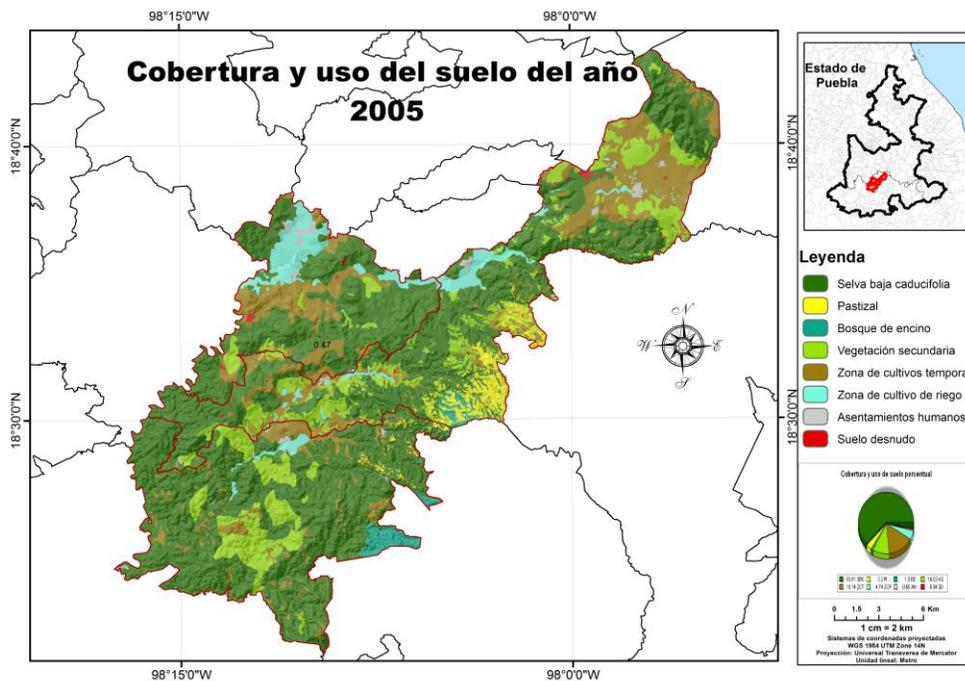


Figura 8. Tipos de Cobertura y uso de suelo para el año 2005.

5.1.4. Cobertura y usos de suelo en el año 2015

En 2015 la selva baja caducifolia se distribuyó en el 62% (33841.42 ha) del territorio estudiado, seguido de la zona de cultivo temporal con el 18.48 % (9963.09 ha), la vegetación secundaria con un 8.33% (769.85 ha), la zona de cultivo de riego con 5.04% (2718,02 ha), el pastizal inducido con 2.17% (1169.54 ha), el bosque de encino con 1.47% (796.85 ha), el suelo desnudo con 1.02% (553.34 ha) y los asentamientos humanos con una permanecía del 0.65% (351 .06 ha) (Figuras 9 y 10).

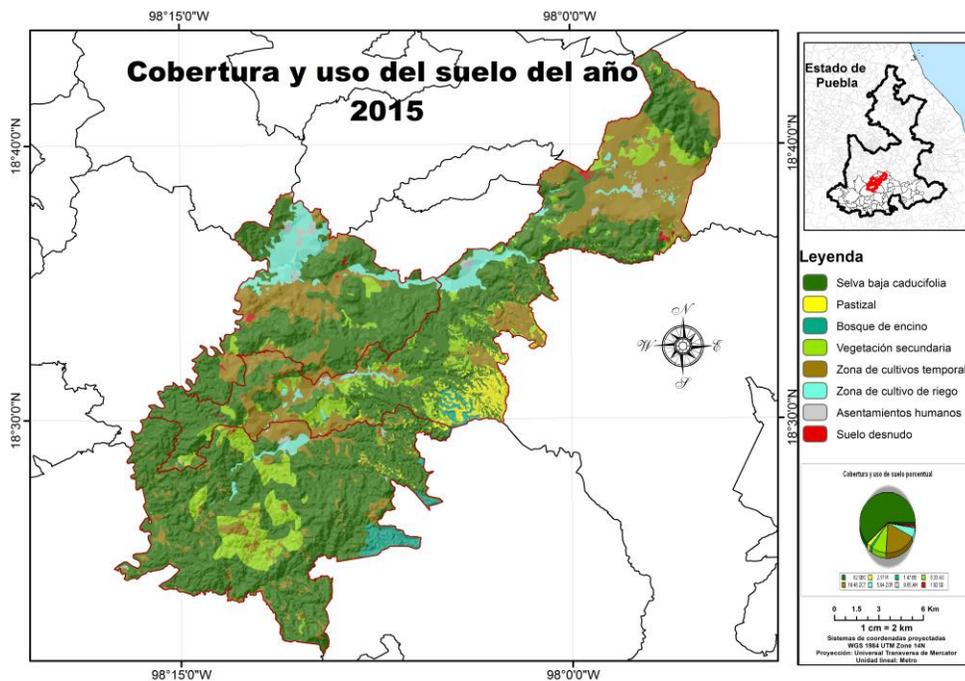


Figura 9. Tipos de Cobertura y uso de suelo para el año 2015.

5.2. Detección de cambios de la cobertura y uso del suelo

Las coberturas que presentaron pérdida en el periodo estudiado fueron la selva baja caducifolia (-10.40%) y el bosque de encino (-0.20%). Es constante el aumento de superficie en la vegetación secundaria (5.42%), las zonas de cultivo de temporal (2.30%) y las de cultivo de riego (1.79%), el suelo desnudo (0.82%), el pastizal inducido (0.34%) y los asentamientos humanos (0.19%) (Figura 10).

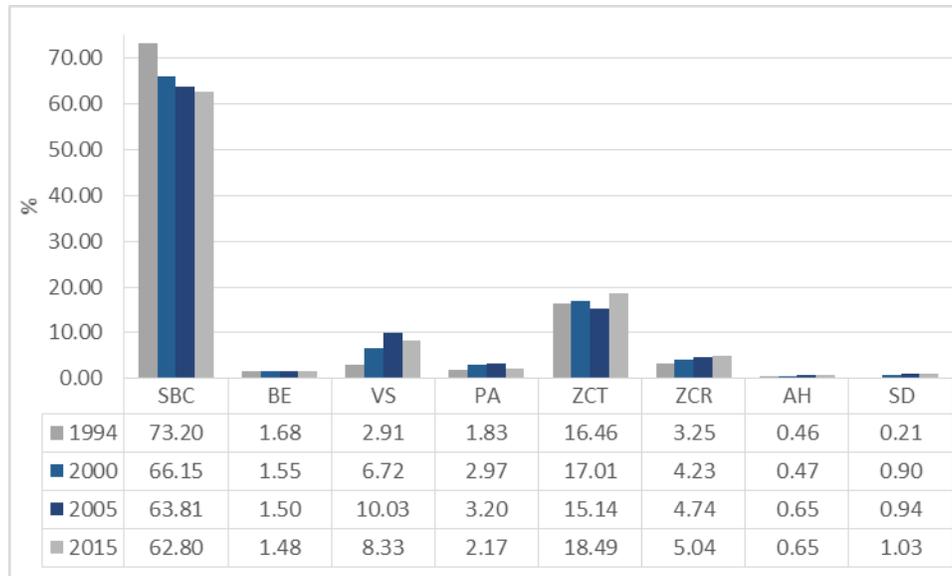


Figura 10. Porcentaje de superficie de cada tipo de cobertura y uso del suelo para cada época evaluada (SBC= Selva Baja Caducifolia, BE= Bosque de encino, VS= Vegetación secundaria, PA= Pastizal inducido, ZCT= Zona de cultivo temporal, ZCR= Zona de cultivo de Riego, AH= Asentamientos humanos, SD= Suelo desnudo).

5.2.1. Cambios de 1994 a 2000

La matriz de cambios del periodo 1994-2000 (Cuadro 3), muestra que la cobertura que registró mayor pérdida fue la selva baja caducifolia, aportando superficie al resto de las coberturas. El bosque de encino también registró pérdidas, transformándose en pastizal inducido. En contraste, la vegetación secundaria es la cobertura que presentó mayor ganancia en la zona centro de Cuayuca de Andrade (Figura 11). Las demás coberturas registraron mayor ganancia que pérdida.

Cuadro 3. Matriz de cambios del periodo 1994-2000 expresada en hectáreas.

1994-2000	SBC	BE	VS	PA	ZCT	ZCR	AH	SD	1994	Pérdida
SBC	35,643.91	0	2427.69	59.69	620.26	345.89	0.55	345.89	39,443.88	3799.97
BE	0	833.79	0.06	72.95	0	0	0	0	906.8	73.01
VS	0	0.6	1135.94	301.1	102.35	3.24	3.24	21.95	1568.42	432.48
PA	0	0	0	986.88	0	0	0	0	986.88	0
ZCT	0	0	55.66	179.32	8430.4	191.52	1.95	8.4	8867.25	436.85
ZCR	0	0	2.67	0.18	10.39	1738.87	0.49	0.49	1753.09	14.22
AH	0	0	0	0	0.73	0.39	247.22	0	248.34	1.12
SD	0	0	0.6	0	1.69	0	0	108.7	110.99	2.29
2000	35,643.91	834.39	3622.62	1600.12	9165.82	2279.91	253.45	485.43	53,885.60	
Ganancia	0	0.6	2486.68	613.24	735.42	541.04	6.23	376.73		

SBC= Selva baja caducifolia; BE= Bosque de encino; VS= Vegetación secundaria; PA= Pastizal inducido; ZCT= Zona de cultivo de temporal; ZCR= Zona de cultivo de riego; AH= Asentamientos humanos; SD= Suelos desnudos. La superficie está expresada en hectáreas.

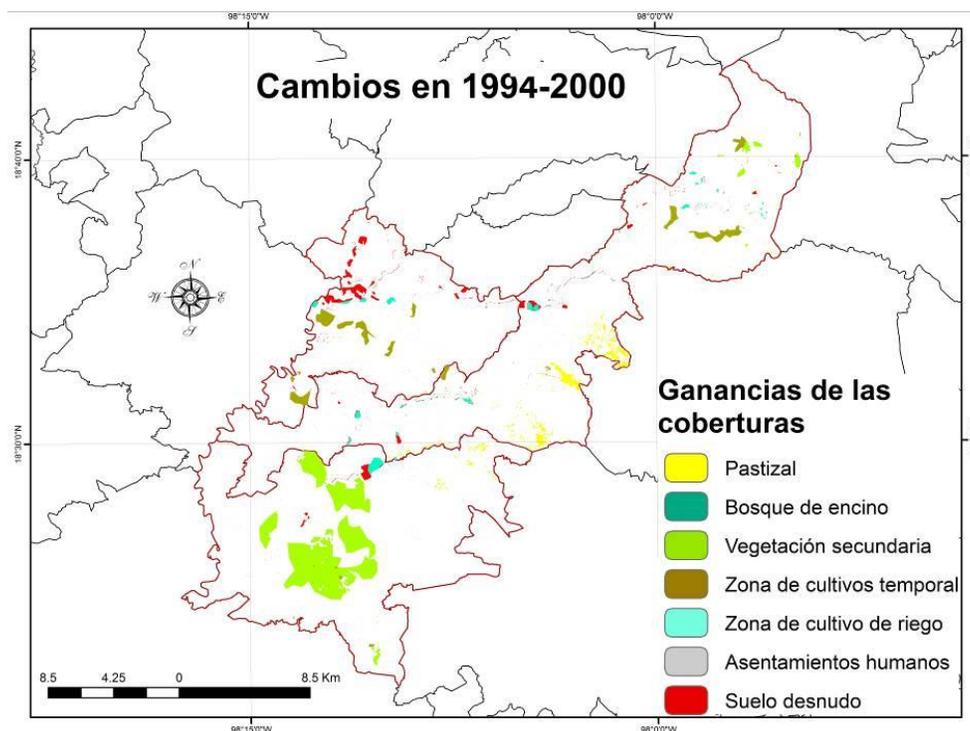


Figura 11. Mapa de Cambios en la temporada 1994-2000.

5.2.1.1. Intercambio del periodo 1994-2000

Los intercambios estimados para toda el área de estudio fueron de 23,388.54 ha:

Las coberturas que presentaron mayor intercambio fueron la vegetación

secundaria (864.96 ha), la zona de cultivo de temporal (873.7 ha), el pastizal inducido (613.42 ha), y la zona de cultivo de riego (28.44 ha). Es constante el suelo desnudo (4.58 ha), los asentamientos humanos (2.24 ha) y el bosque de encino (1.2 ha) mostraron un intercambio apenas significativo y la selva baja caducifolia no lo presentó (Figura. 12).

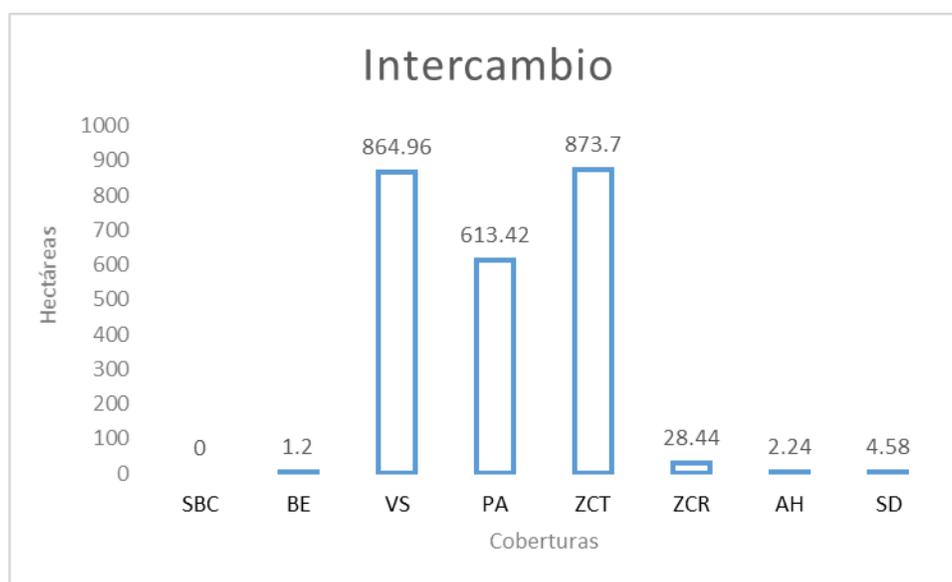


Figura 12. Intercambios en el periodo 1994-2000.

5.2.1.2. Cambios netos del periodo 1994-2000

Los cambios netos totales se dieron en 7744.7 ha que representa el 14.37% de la zona de estudio. La selva baja caducifolia presentó mayor cantidad de cambios positivos (3799.97 ha), seguida del bosque de encino (72.41 ha). Las demás coberturas mostraron cambios netos negativos. La que presentó mayor superficie de cambio neto fue la vegetación secundaria (-2054.20 ha), seguida del pastizal inducido (-613.24 ha), la zona de cultivo de riego (-526.82 ha), el suelo

desnudo (-374.44 ha), la zona de cultivo temporal (-298.57 ha) y los asentamientos humanos (-5.11 ha) (Figura 13).

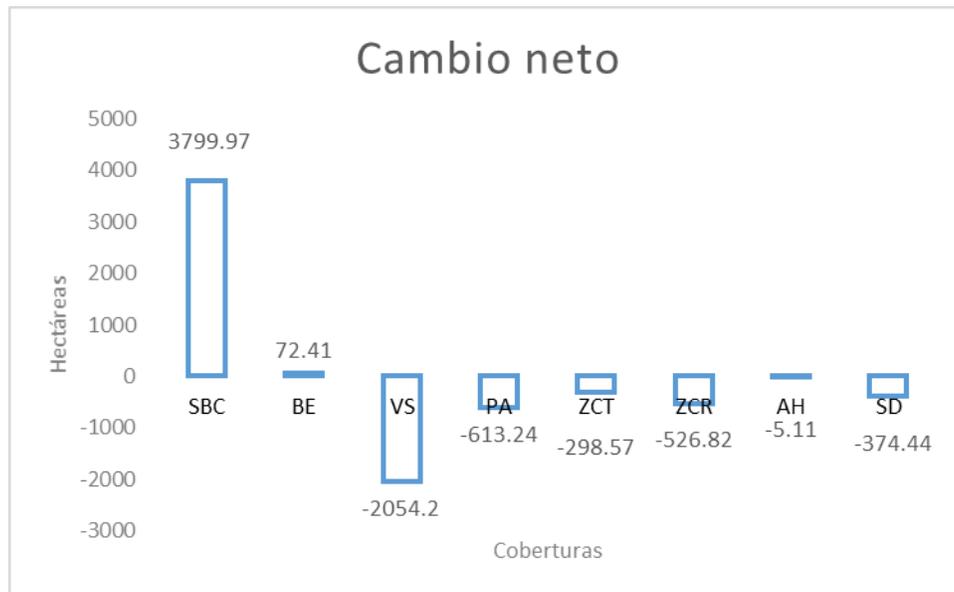


Figura 13. Cambio netos del periodo 1994-2000.

5.2.1.3. Cambios totales del periodo 1994-2000

Los cambios totales cubrieron 10,129.70 ha de la zona como se muestra en la figura 14, reflejando que la selva baja caducifolia presentó mayor número de cambios positivos, seguida del bosque de encino. En contraste de las demás coberturas que presentaron valores negativos y las que mostraron mayor superficie de cambio total fueron la vegetación secundaria, el pastizal inducido y la zona de cultivo temporal (Figura 14).

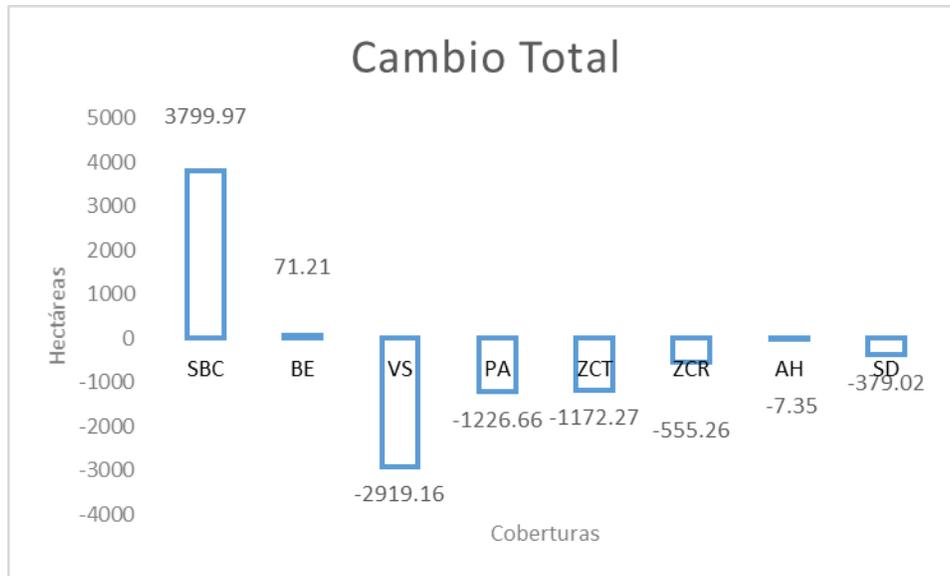


Figura 14. Cambio total para el periodo 1994-2000.

5.2.1.4. Flujos de Cambio del periodo 1994-2000

La tendencia de los flujos mostró procesos complejos de modificación los cuales se presentan en la Figura 15 y se describen a continuación:

- Selva baja caducifolia: Esta cobertura tiene un proceso de conversión a zonas de cultivo temporal (1.74%), a zona de cultivo de riego (0.97%), a suelo desnudo (0.94%) y en menor medida a zonas urbanas (0.001%). Sin embargo, se modifica en vegetación secundaria (6.81%).
- Bosque de encino: Presenta una conversión a pastizal inducido (8.74%) y a cultivo de temporal (0.28%) y una modificación a vegetación secundaria (0.06%).
- Vegetación secundaria: Presenta una conversión a pastizal inducido (8.31%), a zona de cultivo temporal (2.28%), a suelo desnudo (0.60%), a zona de cultivo de riego (0.89%) y a los asentamientos humanos (0.89%), y una modificación a bosque de encino (0.01%).

- Pastizal inducido: No presentó ninguna pérdida.
- Zonas de cultivo temporal: Presenta una Conversión a vegetación secundaria (0.60%), a pastizal inducido (1.95%), a suelo desnudo (0.09%) y una asentamientos humanos (0.02%); y modificación a zona de cultivo de riego (2.08%).
- Zona de cultivo de riego: Presenta una conversión a vegetación secundaria (0.11%), a pastizal inducido (0.008%), asentamientos humanos (0.02%) y a suelo desnudo (0.02%). Y se modificó a zona de cultivo temporal (0.45%).
- Asentamientos humanos: Presenta una conversión a zona de cultivo temporal (0.28%) y de riego (0.15 %)
- Suelo desnudo: Presenta una conversión a vegetación secundaria (0.12%) y a zonas de cultivo temporal (0.34%).

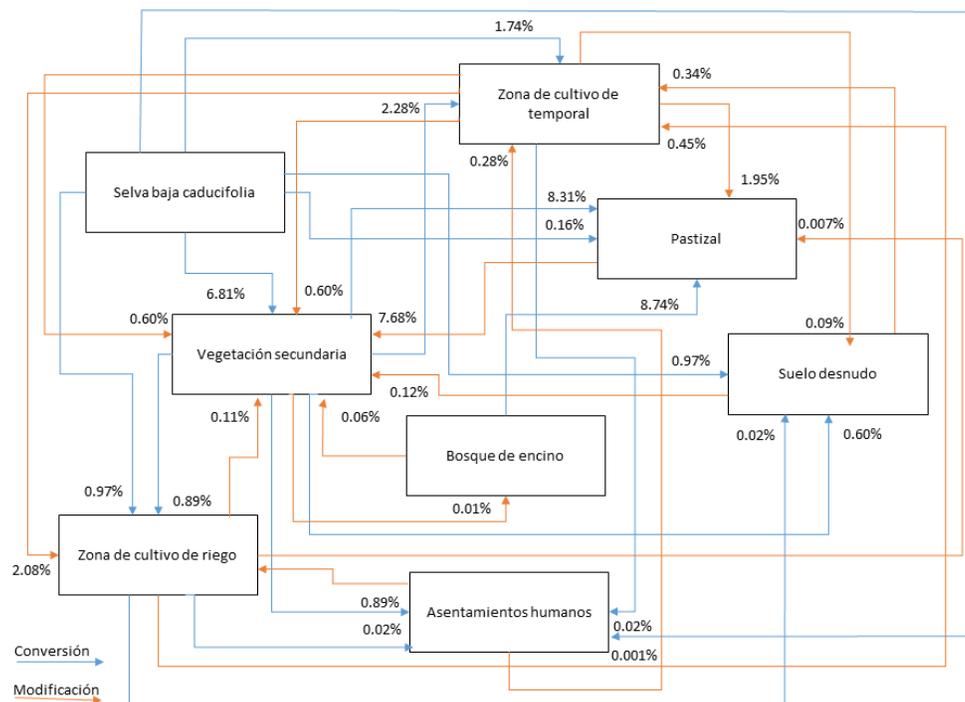


Figura 15. Modelo de cambio de cobertura y uso del suelo en el área estudio en el periodo 1994-2000.

5.2.2. Cambios de 2000 al 2005

En el periodo 2000-2005 (Cuadro 4), la cobertura que presentó mayor aumento en su superficie fue la vegetación secundaria, ganando 2166.99 ha, a consecuencia de la modificación de todas la coberturas, excepto el bosque de encino y la selva baja caducifolia presentaron la misma tendencia que en la temporada anterior. Es constante, la zona de cultivo temporal presentó la mayor pérdida, disminuyendo 2053.60 ha, de las cuáles, la mayor parte se convirtió en vegetación secundaria, principalmente en el municipio de Zacapala (Figura 16).

Cuadro 4. Matriz de cambios del periodo 2000-2005 expresada en hectáreas.

2000-2005	SBC	BE	VS	PA	ZCT	ZCR	AH	SD	2000	Pérdida
SBC	34,338.09	0	179.13	180.89	680.92	173.40	68.56	22.86	35,643.85	1305.76
BE	0	810.81	0	23.58	0	0	0	0	834.39	23.58
VS	44.76	0	3235.84	20.93	299.63	5.57	8.51	7.38	3622.62	386.78
PA	0	0	32.05	1496.80	55.03	16.24	0	0	1600.12	103.32
ZCT	0	0	1930.33	0.05	7112.22	87.47	32.86	2.89	9165.82	2053.60
ZCR	0	0	4.06	0	8.80	2227.74	39.31	0	2279.91	52.17
AH	0	0	10.50	0	0	41.13	201.82	0	253.45	51.63
SD	0	0	10.72	0	0.36	0	0	474.35	485.43	11.08
2005	34,382.85	810.81	5402.63	1722.25	8156.96	2551.55	351.06	507.48	53,885.60	
Ganancia	44.76	0.00	2166.79	225.45	1044.74	323.81	149.24	33.13		

SBC= Selva baja caducifolia; BE= Bosque de encino; VS= Vegetación secundaria; PA= Pastizal inducido; ZCT= Zona de cultivo de temporal; ZCR= Zona de cultivo de riego; AH= Asentamientos humanos; SD= Suelos desnudos. La superficie está expresada en hectáreas.

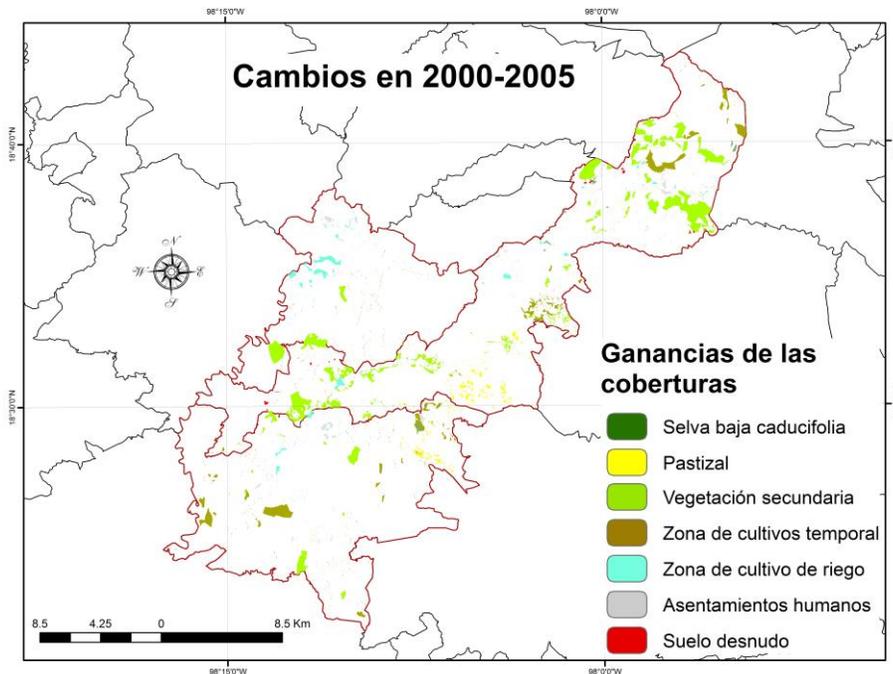


Figura 16. Mapa de Cambios en la temporada 2000-2005

5.2.2.1. Intercambio del periodo 2000-2005

Los intercambios detectados en el área de estudio para el periodo 2000-2005, fueron de 3436.12 ha. La clase que presentó una mayor superficie de intercambio fue la zona de cultivo temporal (2089.48 ha), posteriormente la vegetación secundaria (773.56 ha), el pastizal inducido (206.64 ha), la zona de cultivo de riego (104.34 ha), los asentamientos humanos (103.26 ha), la selva baja caducifolia (89.52 ha) y en menor proporción los suelos desnudos (22.16 ha); mientras que los bosques de encino no presentaron intercambio (Figura 17).

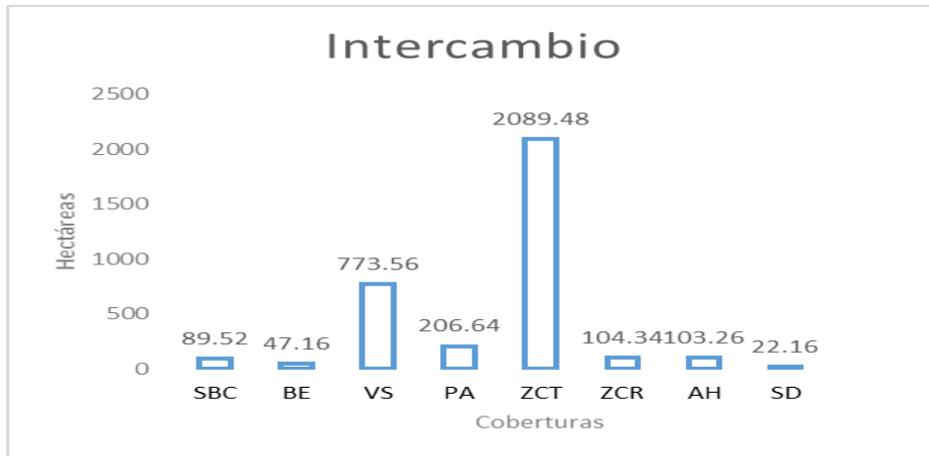


Figura 17. Intercambios en el periodo 2000-2005.

5.2.2.2. Cambios netos del periodo 2000-2005

De 2000 a 2005 los cambios netos mostraron un valor de 2569.16 ha. Las coberturas que presentaron valores positivos fueron la selva baja caducifolia, la zona de cultivo temporal y el bosque de encino. Las demás coberturas mostraron cambios negativos, siendo la vegetación secundaria la clase que exhibió un cambio neto mayor, posteriormente el pastizal, la zona de cultivo de riego, los asentamientos humanos y los suelos desnudos (Figura 18).

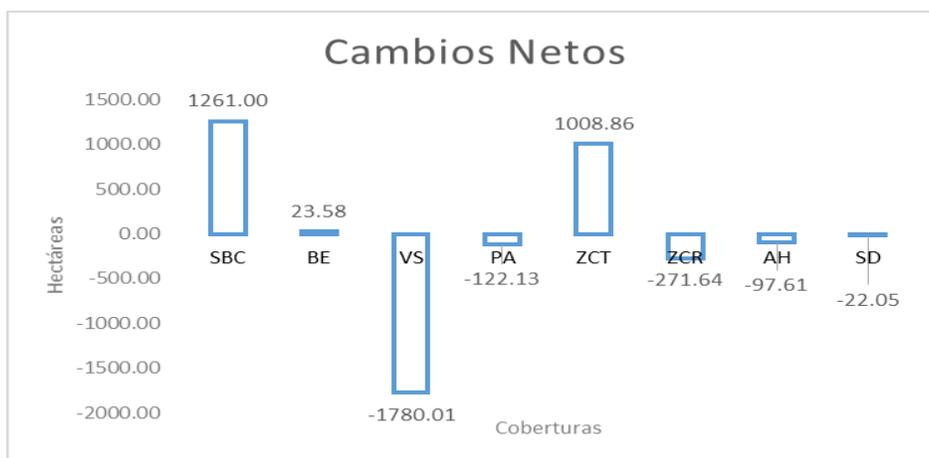


Figura 18. Cambio neto del periodo 2000-2005.

5.2.2.3. Cambio total del periodo 2000-2005

En la figura 19 se muestran los cambios totales de 2000 a 2005 que fueron de 5779.08 ha. Las coberturas que presentaron valores positivos fueron, la selva baja caducifolia y el bosque de encino. Las otras coberturas presentaron valores negativos y la que obtuvo un menor valor fue la vegetación secundaria, seguido de la zona de cultivo temporal, la zona de cultivo de riego, el pastizal inducido, los asentamientos humanos y por último el suelo desnudo.

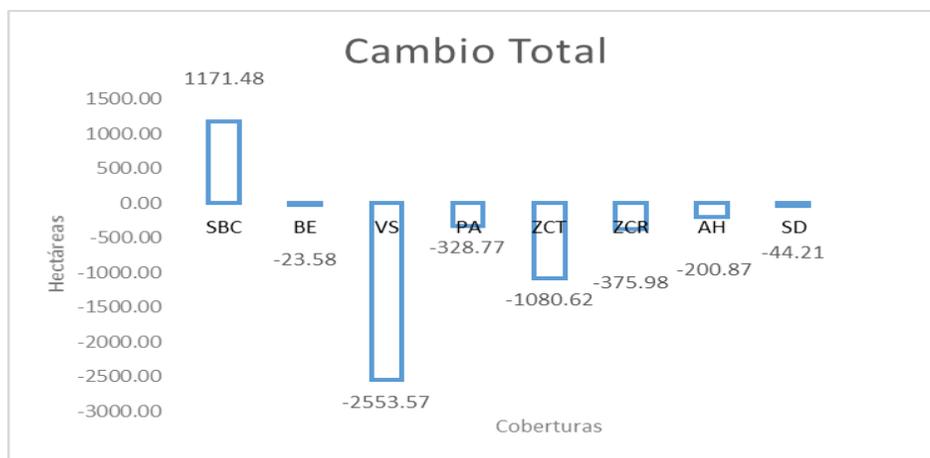


Figura 19. Cambio total del periodo 2000-2005.

5.2.2.4. Flujo de Cambios del periodo 2000-2005

El modelo del flujo de los cambios se muestra en la Figura 20, indicado que los principales procesos de cambio fueron:

- Selva baja caducifolia: Presenta una conversión a Pastizal inducido (0.53%), Zonas de cultivo (temporal 1.98% y riego 0.50%), asentamientos humanos (0.19%) y suelos desnudos (0.07%); y una, modificación a vegetación secundaria (0.52%).

- Bosque de encino: Presenta una conversión a pastizal inducido (2.91%).
- Vegetación secundaria: Presenta una conversión a pastizal inducido (0.39%), Zonas de cultivo (temporal 5.55% y riego 0.10%), asentamientos humanos (0.16%) y suelo desnudo (0.14%); y una modificación a selva baja caducifolia (0.82%).
- Pastizal inducido: Presenta una conversión a vegetación secundaria (1.86%) y modificación a zonas de cultivo (temporal 3.20% y riego 0.94%).
- Zona de cultivo de temporal: Presenta una conversión a vegetación secundaria (23.66%), a pastizal inducido (0.001), asentamientos humanos (0.40%) y a suelo desnudo (0.03%); y una modificación a zona de cultivo de riego (1.07%).
- Zona de cultivo de riego: Presenta una conversión a vegetación secundaria (0.16%) y asentamientos humanos (1.54%) y una modificación a zona de cultivo de temporal (0.34%).
- Asentamientos humanos: Presenta una conversión a vegetación secundaria (3%) y zona de cultivo de riego (11.71%).

- Suelo desnudos: Presenta una conversión a vegetación secundaria (2.11%) y zona de cultivo de temporal (0.07%).

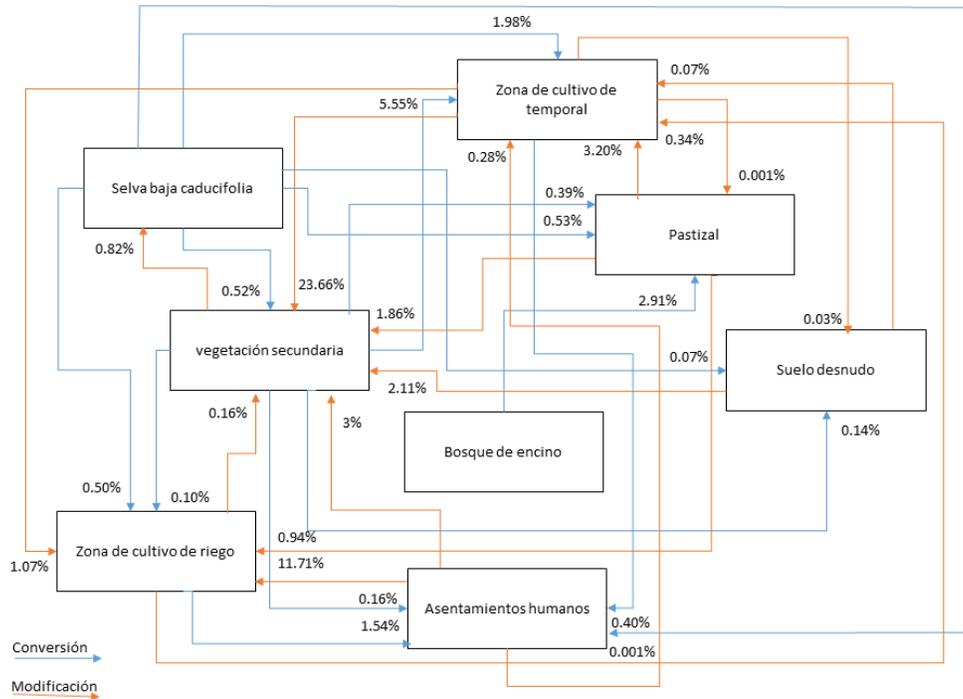


Figura 20. Modelo de cambio de uso de suelo en el área estudio en el periodo 2000-2005.

5.2.3. Cambios de 2005 al 2015

En el periodo 2005-2015, la superficie de las coberturas relacionadas con la vegetación primaria (selva baja caducifolia y bosque de encino) disminuyeron, igual que en los periodos anteriores, mientras que la vegetación secundaria presentó la mayor pérdida, evidenciando un proceso de conversión a cultivos de temporal. La matriz de cambios (Cuadro 5) también muestra un aumento en la superficie de las zonas de cultivo (temporal y riego), en donde se aprecia que los pastizales aportaron superficie a las zonas de cultivo de riego y a la vegetación secundaria. Por su parte, las zonas de cultivo de temporal sufrieron un proceso de modificación a vegetación secundaria, pastizales inducidos, zonas de cultivo de

riego y una conversión a suelo desnudo. Las zonas de cultivo de riego solo presentan ganancia en los municipios de Cuayuca de Andrade y Zacapala. Por su parte los asentamientos humanos no presentan modificaciones, y los suelos desnudos se convirtieron en zona de cultivo de temporal y se modificaron a vegetación secundaria (Figura 21).

Cuadro 5. Matriz de cambios del periodo 2005-2015 expresada en Hectáreas.

2005-2015	SBC	BE	VS	PA	ZCT	ZCR	AH	SD	2005	Pérdida
SBC	33,818.42	0	91.59	35.57	352.97	76.59	0	28.19	34,382.85	564.43
BE	0	796.85	0	13.96	0	0	0	0	810.81	13.96
VS	23.01	0	4284.41	0.	1049.91	0.72	0	22.83	5402.63	1118.22
PA	0	0	89.62	1119.26	513.37	0	0	0	1722.25	602.99
ZCT	0	0	25.25	0.75	8033.59	89.16	0	8.21	8156.96	123.37
ZCR	0	0	0	0	0	2551.55	0	0	2551.55	0.00
AH	0	0	0	0	0	0	351.06	0	351.06	0.00
SD	0	0	0.12	0	13.25	0	0	494.11	507.48	13.37
2015	33,841.43	796.85	4490.99	1169.54	9963.09	2718.02	351.06	553.34	53,885.60	
Ganancia	23.01	0.00	206.58	50.28	1929.50	166.47	0.00	59.23		

SBC= Selva baja caducifolia; BE= Bosque de encino; VS= Vegetación secundaria; PA= Pastizal inducido; ZCT= Zona de cultivo de temporal; ZCR= Zona de cultivo de riego; AH= Asentamientos humanos; SD= Suelos desnudos. La superficie está expresada en hectáreas.

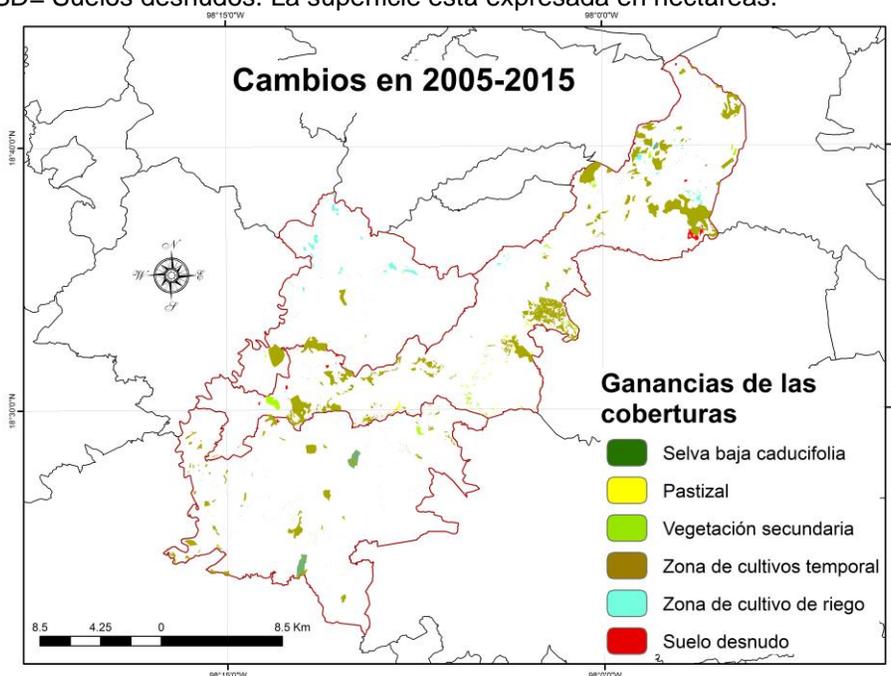


Figura 21. Mapa de Cambios en la temporada 2005-2015

5.2.3.1. Intercambio del periodo 2005-2015

Las coberturas presentaron 3789.84 ha de intercambio, siendo la vegetación secundaria y el pastizal inducido las que tuvieron un valor mayor, seguidos de la zona de cultivo temporal, la selva baja caducifolia, la zona de cultivo de riego y los suelos desnudos. Las coberturas que no presentaron intercambios fueron los bosques de encino y los asentamientos humanos (Figura 22).

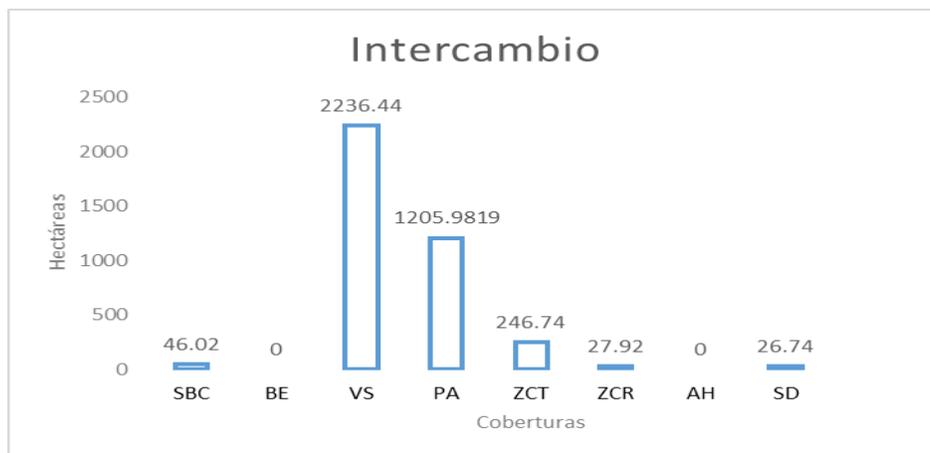


Figura 22. Intercambio del periodo 2005-2015.

5.2.3.2. Cambios netos del periodo 2005-2015

Los cambios netos muestran una superficie de 4038.19 ha, encontrando que la vegetación secundaria es la que presenta un mayor incremento, seguido de la selva baja caducifolia, el pastizal inducido y el bosque de encino. Las coberturas que exhibieron valores negativos fueron el suelo desnudo, la zona de cultivo de riego y la zona de cultivo temporal, por su parte la cobertura que no presentó cambios fue la de asentamientos humanos (Figura 23).

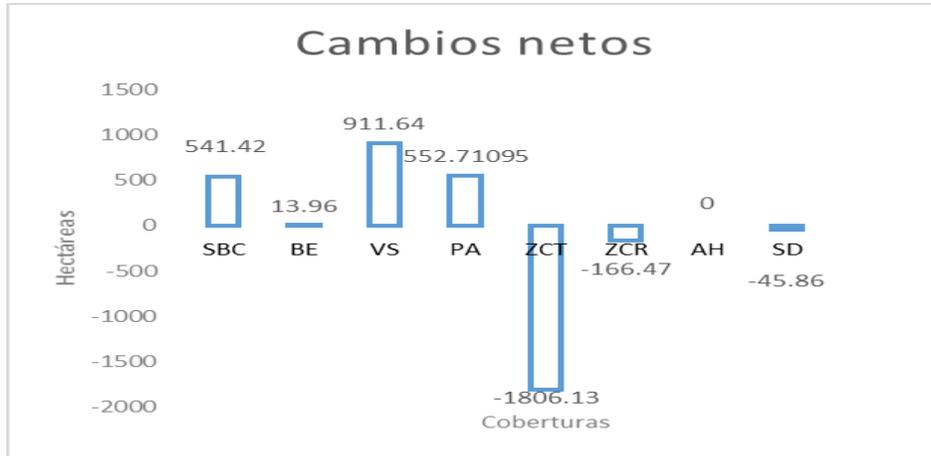


Figura 23. Cambio neto del periodo 2005-2015.

5.2.3.3. Cambios totales del periodo 2005-2015

Los cambios totales de la zona de estudio fueron de 3026.06 ha. Los mayores cambios positivos se presentaron en la selva baja caducifolia y en el bosque de encino. En consecuencia la zona de cultivo temporal presentó los mayores cambios totales negativos, seguido de la vegetación secundaria, el pastizal inducido, la zona de cultivo de riego y los suelos desnudos; Por su parte, los asentamientos humanos no presentaron cambios (Figura 24).

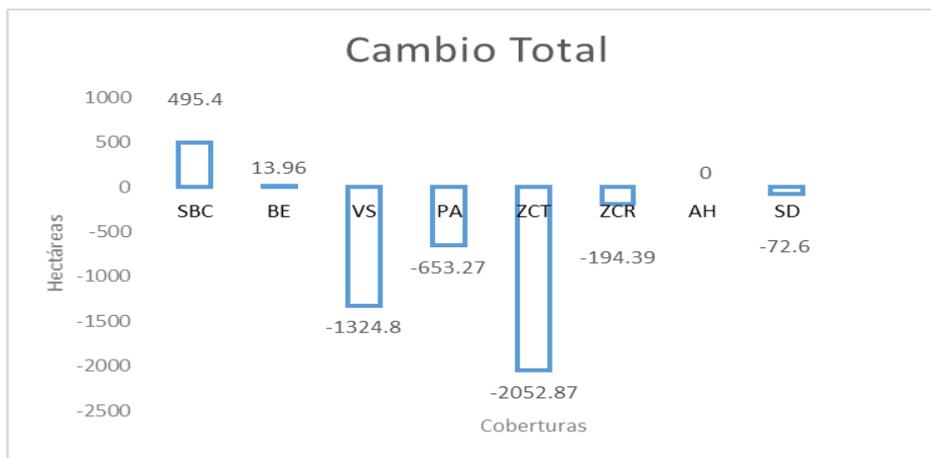


Figura 24. Cambio total del periodo 2005-2015.

5.2.3.4. Flujo de Cambios del periodo 2005-2015

El modelo del flujo de los cambios se muestra en la Figura 25, indicado que los principales procesos de cambio fueron:

- Selva baja caducifolia: Presenta una conversión a pastizal inducido (0.10 %), a zonas de cultivo (temporal 1.04% y riego 0.22%), y a suelos desnudos (0.08%); así como una modificación a vegetación secundaria (0.27%).
- Bosque de encino: Presenta una Conversión a pastizal inducido (1.75%).
- Vegetación secundaria: Presenta una Conversión a zonas de cultivo (temporal 23.37% y riego 0.01%), y a suelo desnudo (0.50%); y una modificación a selva baja caducifolia (0.51%).
- Pastizal inducido: Presenta una conversión a vegetación secundaria (7.68%) y a zonas de cultivo de temporal (43.89%).
- Zona de cultivo de temporal: Presenta una Conversión a vegetación secundaria (0.25%), a pastizal inducido (0.007%) y a suelo desnudo (0.08%); y una modificación a zona de cultivo de riego (0.87%).
- Zona de cultivo de riego: No presenta pérdidas
- Asentamientos humanos: No presentan pérdidas
- Suelo desnudos: Presenta una conversión a vegetación secundaria (0.02%) y a zona de cultivo de temporal (2.52%).

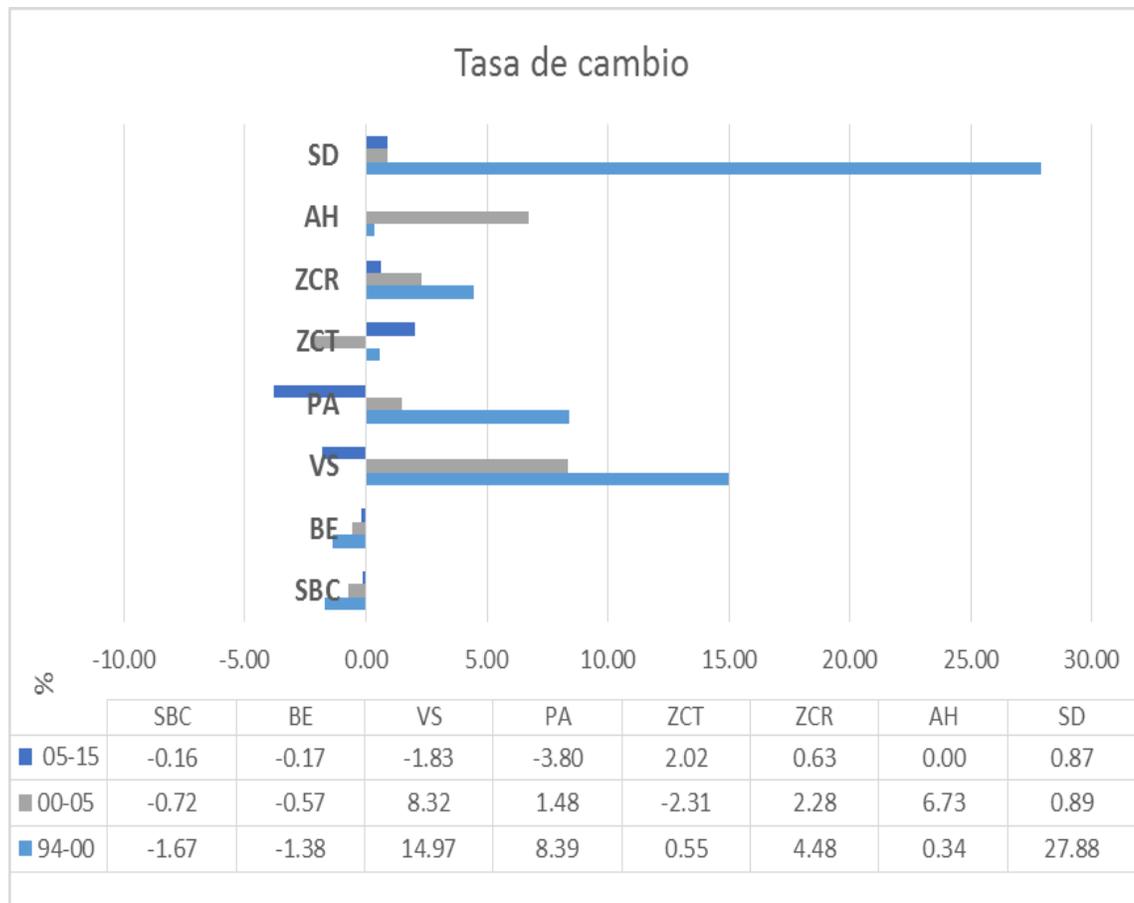


Figura 26. Tasas de Cambios de las tres temporadas.

La selva baja caducifolia presentó pérdidas de -1.67% en la primer temporada, en la segunda de -0.72 y para la tercera de -0.16. Esto mismo sucedió con el bosque de encino, que en la primera época perdió superficie a razón de 1.38, posteriormente, fue de -0.57% y en el tercer periodo de estudio tuvo -0.17.

La vegetación secundaria mostró cambios importantes debido a que en el periodo de 1994 a 2000, presentó ganancias de 14.97%, para la temporada 2000-2005 fue de 8.32% y pérdidas de -1.83% entre 2005 y 2015. Otra cobertura que presentó la misma tendencia fue el pastizal inducido que en la primer temporada

ganó superficie a una tasa de 8.39%, en la segunda ganó 1.48% y para el tercer lapso perdió -3.80%.

Las zonas de cultivo de temporal presentaron una ganancia de 0.55% de 1994 a 2000, entre 2000 y 2005 presentaron pérdidas obteniendo un resultado de -2.31% y entre 2005 y 2015 incrementaron en 2.02%. Estos resultados son constantes en las zonas de cultivo de riego que mostraron ganancias en las tres temporadas: 4.48%, 2.28% y 0.63%.

Los asentamientos humanos mostraron un aumento de la temporada uno a 0.34% y en la segunda de 6.73%. Sin embargo, en la tercera, los valores se mantuvieron.

Los suelos desnudos presentan ganancia al comparar los tres resultados debido a que en el periodo 1994-2000, presenta un valor de cambio del 27.88%, en el segundo de 0.89 y en tercero de 0.87%.

6. Discusión

La selva baja caducifolia presentó cambios positivos para las tres temporadas, lo cual quiere decir que la pérdida de su superficie de cobertura vegetal es mayor que la ganancia. Este hecho es semejante a otras áreas tropicales, debido a que todas han sufrido presiones por actividades humanas, principalmente por la agricultura, ganadería y la extracción minera (Leirana *et al.*, 2009, García *et al.*, 2005, Arler, 2000). Sin embargo, otra tendencia que mostró la selva baja caducifolia en la segunda y tercera temporada, fue que su ganancia en superficie, posiblemente fue consecuencia del abandono de los espacios destinados para algún uso particular, lo que permitió que se recuperara la vegetación primaria a través de tiempo (López, *et al.*, 2015). Se sabe que esta comunidad se recupera en menos de 20 años, de acuerdo con los estudios realizados en Chamela, Jalisco y en la Reserva de Dzilam en Yucatán (Martínez-Ramos *et al.*, 2012; Leirana *et al.*, 2009). De hecho, los valores negativos obtenidos de la tasa de cambio indican que la selva baja caducifolia registra pérdida de superficie a lo largo del tiempo. Estos resultados son similares a los reportados a nivel nacional por la SEMARNAT (2012), Farfán *et al.*, (2015), Galicia *et al.*, (2014) y Durán *et al.*, (2007)

Por su parte, el bosque de encino se modificó a vegetación secundaria y a pastizales en la parte centro de Zacapala y norte de Cuayuca de Andrade (Figura 3). Esta información coincide con lo reportado por López *et al.*, (2015) para el área Mazahua del Altiplano Mexicano y con lo reportado por Trucíos *et al.*, (2011) para

el sur del área natural protegida de “Sierra de Lobos” y el norte del municipio de León, Guanajuato. Estos autores mencionan que el pastizal, se aprovecha especialmente para producir y criar ganado.

Con respecto a la vegetación secundaria, su superficie incremento en 2922.57 ha. Este resultado está relacionado con los cambios netos de superficie debido a que en las primeras dos temporadas presentó valores negativos. Esto se debe a que la ganancia de su cobertura es mayor que la pérdida de superficie, resultado del impacto causado por la deforestación y la consecuente conversión a otros usos. Lo anterior puede ser un indicador que muestra que la diversidad y estructura son distintas, permitiendo una regeneración natural de esta comunidad vegetal (Quintero *et al.*, 2014, Martínez *et al.*, 2012, Leirana *et al.*, 2009). En el periodo 2005-2015 se registraron pérdidas de la clase de vegetación secundaria, que se encuentran asociadas a su conversión a zonas de cultivo de riego y a suelos desnudos, pero también a la recuperación de la selva baja caducifolia.

En cuanto al pastizal, en el año 1994 ocupó una superficie de 986.88 ha, mientras que para el 2015 se incrementó a 1169.54 ha, teniendo una ganancia de 182.66 ha. Sin embargo, al analizar la dinámica de los cambios de este tipo de cobertura, se observó que presentó una ganancia de cobertura en las primeras dos temporadas y una pérdida en la última. Este proceso puede ser explicado por la eliminación de la vegetación original debido al desmonte y al abandono de las áreas agrícolas (SEMARNAT, 2012). Esta cobertura es muy importante, desde el punto de vista económica, debido a que se utiliza para la alimentación de ganado

bovino y caprino que son recursos importantes para el consumo local (Ibarra *et al.*, 2011).

Por su parte, las zonas de cultivo temporal mostraron ganancia en superficie para las temporadas 1994-2000 y 2005-2015, pero pérdida del 2000-2005. Estos cambios pueden ser consecuencia del descanso de los terrenos destinados a la agricultura, que es una estrategia que siguen los campesinos, para favorecer el proceso de recuperación de la vegetación por el mejoramiento de la fertilidad de los suelos a lo largo de varios años. Este proceso implica que, una vez recuperada, se eliminará la vegetación para sembrar nuevamente. Esto genera la formación de mosaicos complejos en pequeñas áreas agrícolas y distintas fases de vegetación secundaria a su alrededor (Moreno *et al.*, 2012). El aumento de la superficie para estos periodos debe estar relacionada con los proyectos impulsados en esta zona. Este es el caso en la localidad San Marcos, en el municipio de Coatzingo, donde se ha desarrollado la primera experiencia de agricultura por contrato de chile jalapeño, que reporta la producción de al menos 300 ha de chile y la de aguacate en el municipio de Zacapala (Jiménez, 2005).

La zonas de agricultura de riego presentaron un incremento en las tres temporadas, con una tasa promedio de 2.46% anual. Estos cambios son consecuencia de los beneficios que esta actividad proporciona debido a la introducción de algunas semillas mejoradas, como la variedad de Maíz QPM y otros cultivos como la zanahoria y la cebolla, además de la ejecución de micro-invernaderos (Jiménez, 2005). Sin embargo, esta práctica crea nuevos ambientes más favorables para numerosas plantas, a veces con consecuencias negativas,

como la salinización, los anegamientos y la degradación del suelo, lo cual provoca a mediano plazo, abandono de los terrenos y de la infraestructura (González, 2012).

Los asentamientos humanos mostraron un cambio total de 7.35 ha a una tasa de 0.34% anual, de 1994-2000, mientras que en el periodo 2000-2005, fue 200.87 ha a una tasa de 6.37% anual. Estos resultado coinciden con lo reportado por García *et al.*, (2005) para la zona de la cuenca baja del río Papagayo; Sin embargo, el período 2005-2015 no presentó cambios totales que al igual como lo menciona Morales and Pérez (2006) como consecuencia de la dinámica población como migración y emigración.

En lo que concierne al suelo desnudo presentó una superficie para 1994 de 110.99 ha y para 2015 fue 553.34 ha, registrando una ganancia de 442.35 ha, a una tasa de cambio promedio de 29.06% anual. Estos resultados indican que los cambios no han sido benéficos y coinciden con el estudio realizado por Farfán *et al.*, (2015) quienes explican que el crecimiento del suelo desnudo, es consecuencia del desmonte de las selvas para realizar diversas actividades agropecuarias. Asimismo, este crecimiento también se lo relaciona con el crecimiento de los asentamientos urbanos e infraestructura asociada, y las actividades de minería, que para el caso de la zona de estudio, se presentaron en 69 localidades mineras.

7. Conclusión

Los tipos de cobertura vegetales y usos de suelos existentes en la zona de estudio, incluyen a la selva baja caducifolia, bosque de encino, vegetación secundaria, pastizal inducido, zonas de cultivo (temporal y riego), asentamientos humanos y suelos desnudos.

Los principales cambios que se identificaron en los 21 años analizados fueron la disminución de la selva baja caducifolia y el bosque de encino, mientras que las demás coberturas registraron un aumento en su superficie. Los cambios detectados fueron la conversión de selva baja caducifolia a todas las otras coberturas, pero en mayor medida, a zonas de cultivo de temporal, Por su parte el bosque de encino cambio a pastizal, la vegetación secundaria a todas las demas coberturas, el pastizal inducido a las zonas de cultivo (temporal y riego) y vegetación secundaria. Mientras que las zonas de cultivo de temporal se transformaron en pastizales, y vegetación secundaria y después a zonas de cultivo de riego, que a su vez, se convirtieron a todas las demas coberturas. Finalmente, los suelos desnudos cambiaron a las zonas de cultivo de temporal y riego.

La temporada que presentó mayor cambio fue de 1994-2000, mostrando los valores de intercambio y cambios netos más elevados.

En cuanto a la tasa de cambio, para el período 1995-2000 el suelo desnudo y la vegetación secundaria presentaron las tasas de cambio más altas y la selva

baja caducifolia y bosque de encino las más bajas. Para 2000-2005 la vegetación secundaria mostró la mayor tasa de cambio. Por su parte las zonas de cultivo temporal presentaron la menor tasa de cambio. En el período 2005-2015 las zonas de cultivo de temporal se incrementaron, mientras que pastizal inducido disminuyó.

En conclusión el análisis de CCUS es una evaluación regional, que utiliza utilizando técnicas de percepción remota, que permite tener una primera aproximación a la dinámica de la cobertura del terreno. Sin embargo, es necesario realizar trabajo de campo exhaustivo que aporte datos precisos para validar el análisis. Además, desde el punto de vista biofísico, también deberían de considerarse variables como la estructura y composición de la vegetación y la calidad del suelo, para conocer el estado real de la cobertura vegetal en la zona. Así mismo sería necesario analizar las variables sociales y económicas involucradas en el proceso de CCUS, considerando factores demográficos, y los logros de los programas gubernamentales de fomento agropecuario (PROCAMPO) y de conservación y restauración (Pago por Servicios Ambientales), fenómenos migratorios y su relación con los niveles de pobreza y marginación entre otras.

8. Citas bibliográficas

Argo consultores ambientales S.A. de C. V. (2007) Estudio Regional forestal UMAFOR, Izucar de Matamoros, SEMARNAT- CONAFOR, 1-232.

Alvarez A., Blum A y Gallego F. (2015) Atlas de cobertura del suelo del Uruguay, Montevideo: Direccion Nacional de Ordenamiento Territorial- Food and Agriculture Organization of the UN. Disponible en internet: <http://www.fao.org/3/a-i4372s.pdf> Consultada el 01/02/16.

Arler, F. (2000) "Aspects of landscape or nature quality", *Landscape Ecology*, 15:291-312.

Berberon F., M. (2011) La gestión del patrimonio histórico como instrumento para un desarrollo sostenible. Un caso práctico: El proyecto de desarrollo local "Os Ambientes do ar", España, Vitor., 317-330.

Berlanga R. C., García C. R. y López B. J. (2010) Patrones de cambio de coberturas y usos del suelo en la región costa norte de Nayarit (1973-2000). *Investigaciones Geográficas*, 72:7-22.

Bhagawart, R. (2011) Application of remote sensing and GIS, Land use/Land cover Change in Kathmandu Metropolitan City, Nepal. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 23: 80-86.

Bocco, G., Rosete, F., Pérez J. (2009). Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones Geográficas*, 67: 39-58.

Bocco, G., M. Mendoza y O. Maserá (2001) La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 44: 18-38.

Chavez, P. S. (1998) An improvised dark object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24:459-479

- Coppin P., I., Jonckheere K., Nackaerts B., Muys E. and Lambin.E. (2004)** "Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review", *Int. J. Remote Sensing*, 25(9):1565-1596.
- Chuvienco, E. (2007)** "Teledetección Ambiental: La observación de la tierra desde el espacio". *Ariel* S. A. España, 346-357.
- Chuvienco E., Martín M. and Palacios A. (2002)** "Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination" *International Journal of Remote Sensing*, 23:5103-5110.
- Chuvienco J. E. and Vargas F. (2002)** Empleo de la teledetección en el análisis de la deforestación tropical: El caso de la reserva Forestal de Ticoporo (Venezuela), *Serie Geográfica*, 10:55-76
- Durán M. E., Mas J. y Velázquez A. (2007)** Los bosques comunitarios de México, manejo sustentable de paisajes forestales, Capitulo 10, Cambios en la cobertura de vegetación y uso del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México., Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 267-299 pp.
- FAO (2010)** Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Food and Agriculture Organization of the UN, Roma. Disponible en internet: <http://foris.fao.org/static/data/fra2010/KeyFindings-es.pdf> Consultada el 09/12/15.
- FAO (2006)** Componentes y Funciones de los SIG. Food and Agriculture Organization of the UN, Roma. Disponible en internet: <http://www.rlc.fao.org/es/prioridades/transfron/sig/intro/compo.htm> Consultada el 23/03/14
- FAO (2001)** Global Forest Resources Assessment 2000".Main Report. FAO forestry paper 140, Food and Agriculture Organization of the UN, Roma.
- FAO (1996)** Forest resources assessment 1990, Survey of tropical forest cover and study of change processes, Food and Agriculture Organization of the UN, Roma. Disponible en internet: <http://www.fao.org/docrep/007/w0015e/W0015E00.htm#TOC>. Consultado 15/09/2015

- Farfán G., M., Rodríguez T. G. y Mas J. F. (2015)** Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biósfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas* 1-16.
- Galicia L., Cuevas F. M., González R. L. y Couturier S. (2014)** Detección de cambio ambiental en selvas y bosques de México con percepción remota: un enfoque multiescalar de espacio y tiempo. *Interciencia* 39(6): 368-374.
- García A., Mendoza K. y Galicia L. (2005)** Valoración del paisaje de la selva baja caducifolia en la cuenca baja del río Papagayo (Guerrero), México, *Investigaciones Geográficas*, 56:77-100.
- González M. F., 2012**, Las Zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología, 145-156.
- Guízar N., E., Granados S. D. y Castañeda M., A. (2010)** Flora y vegetación en la porción sur de la Mixteca poblana. *Revista Chapingo*, 16 (2):95-118.
- H. Ayuntamiento de Zacapala, Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable. 2008-2011.** “Diagnóstico y Plan Municipal de Desarrollo Rural Sustentable”. 67 pp.
- Ibarra M. J., Roman, R., Gutiérrez, K., Gaxiola, J., Arias, V. y Bautista, M. (2011)** Cambio en la cobertura y uso de suelo en el norte de Jalisco, México: Un análisis del futuro, en un contexto de cambio climático. *Amibi-Agua*, Taubaté, 6, (2): 111-128.
- INEGI (2013)** Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0, escala 1:50,000, E14B63, E14B64, E14B73, E14B74. **INEGI (2010)**, Censos y Conteos de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI (2009a)**, Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Coatzingo, Puebla Clave geoestadística 21031. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- INEGI (2009b)**. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Cuayuca de Andrade, Puebla, Puebla. Clave geoestadística 21042. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

INEGI (2009c). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Zacapala, Puebla. Clave geoestadística 21206. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

INEGI (2009d) Conjunto de datos vectoriales de la carta de uso de suelo y vegetación escala 1:250,000, Serie IV, E1405U4V. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

INEGI (2003) Convención Nacional de Geografía 2003. Infraestructura de Datos Espaciales de México (IDEMex). México. 140-160.

INEGI (1995) Ortofotos digitales, escala 1:50,000, E14B63, E14B64, E14B73, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

Jardel E., Mass M., Castillo A., García R., Porter L., Sosa J. y Burgos A. (2008) Manejo de ecosistemas e investigación a largo plazo, *Ciencia y Desarrollo*, 34 (215):30-37.

Jiménez M. F. (2005) El campo en Puebla, entre el desarrollo ideal y lo posible. Gobierno del Estado de Puebla-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 509 p.

Lambin, E. F., Geist, H. J. and Lepers, E. (2003) Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 28: 205-241.

Lambin E., F., Turner b., L., Geist H., J., Agbola S., B., Anelsen A., Bruce J.,W., Commes O., T., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George, P., S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E., F., Mortimore M., Ramakrishnan P., S., Richard J., F., Skanes H., Stefeen W., Stone G. D., Svedin U., Veldkamp T., A., Vogel C. and Xu J. (2001) The causes of land-use and land cover change moving beyond the myths. *Global Enviromental Change*, (11): 261-269.

Lambin, E. F. (1997) *Modelling deforestation processes: a review tropical ecosystem environment observations by satellites*, European Commission Joint Research Centre– Institute for Remote Sensing Applications–European Space Agency, Luxembourg, TREE Series B., Research Report No. 1.

- Leirana A., J., Hernandez B., S., Salinas P., L. y Guerrero G. (2009)** Cambios en la estructura y composición de la vegetación relacionados con los años de abandono de tierras agropecuarias en la Selva Baja Caducifolia Espinosa de la Reserva Dzilam, Yucatán, *Polibotánica*, 27:53-70.
- Lillesand T., Kiefer R. and Chipman J. (2004)** Remote sensing and image interpretation. E.U.A. Wiley, 5^{ed}, 491-624.
- López V., V., Balderas P., M., Chávez M., M., P. J. Juan y Gutiérrez C. J. (2015)** Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área Mazahua del Altiplano Mexicano. *Ciencia ergo sum* 22:136-144.
- Martinez-Ramos M., Barraza P., Balvanera P., Benitez-Malvido J., Bongers F., Castillo A., Cuarón A., Ibarra-Manríquez G., Paz- Hernández H., Pérez-Jiménez A., Quesada M., Pérez-Salicrup D., Sánchez-Azofeifa A., Schondube J., Stoner K., Alvarado J., Boege K., Del-Val E., Favila E., Sauzo-Ortuño I., Ávila-Cabadilla L., Álvarez Y., Cano M., Castillo J., Chaves O., De la Peña E., Corza A., Godínez M., Gomez A., González A., Fuentealba B., Guadiño W., Hernández O., Kaláscka M., Lobeck M., López-Carretero A., Manrique C., Maza-Villalobos S., Méndez-Toribio M., Moreno-Ardila F., Muench C., Peñaloza C., Pinzón L., Páramo E., Pineda F., Ricaño A., Rocha M., Rodríguez-Velázquez J., Schroeder N., Trilleras J., Van P., Villa E., Zermeño I. (2012)** Manejo de bosques tropicales: base científicas para la conservación, restauración y aprovechamiento de ecosistemas en paisajes rurales, Sección Investigación, 4(1):111-129.
- Maxewell S., K., Schmidta G., L. and Storey J., C. (2007)** A multi-scale segmentation approach to filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images, *International Journal of Remote Sensing*, 28: 5339-5356.
- Morales G., and Pérez D. (2006)** Crecimiento poblacional e instrumentos para la regulación ambiental de los asentamientos humanos en los municipios costeros de México, *Gaceta Ecológica*, 79: 53-77.
- Moreno C. A., Casas A., García F. E., y Torres G. L. (2012).** Traditional agroforestry systems of multi-crop “milpa” and “chichipera” cactus forest in the arid Tehuacan Valley, Mexico: Their management and role in people’s subsistence. *Agroforestry Systems* 84:207-226.
- Nájera G., O., Bojórquez S., Cifuentes L. y Marcelleño F. (2010)** Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit, *Revista biociencia*, (1): 19-29.

Pineda J., N., Bosques S., J., Gómez D., M. y Plata R., W. (2009) Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación, *Investigaciones Geográficas*, 69:33-52.

Pontius R., Shausas E. and McEachern. (2004) Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, *Agriculture Ecosystems & Environment*, 101: 251-268.

Quintero G., M., Vila O. J. y Gómez M. G. (2014) Proceso de fragmentación de las coberturas vegetales en la reserva natural La Montaña del Ocaso y las zonas aledañas, entre los años 1954 a 2009. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. 25:123-135.

Rosete-Vergés A. Pérez D., J. Villalobos D., M., Navarrp S., E., Salinas C., E. Remond N., R. (2014) El avance de la deforestación en México 1976-2007, *Madera y bosque*, 20:(1):21-35.

Sandoval V. y Oyarzun V. (2004) Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. *Quebracho*, 11: 9-21.

SEMARNAT (2012) Ecosistemas terrestres. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Disponible en Internet: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/02_ecosistemas/cap2_3.html Consultada el 12/08/13.

SGM (2013) Inventario físico de los recursos minerales de la carta Coatzingo E14-B63. Disponible en internet: http://mapserver.sgm.gob.mx/inf_tecnicos2/T2113VEBJ0001_01.PDF Consultada el 20/08/2016

UNAM. (2008) Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano. Facultad de Ciencias, Centro de investigación en ecosistemas (CIEco); Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM); Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Disponible en internet: <http://campus.iztacala.unam.mx/mmrq/mega/> Consultada el 05/09/12

Velázquez A., Mas J., Díaz-Gallegos J., Mayorga-Saucedo R., Alcantara P., Castro R., Fernández T., Bocco G., Ezcurra E. y Palacio J. (2002), Patrón y tasa de cambio de uso del suelo en México, *Gaceta Ecológica*, 62: 21-37.

Villarreal-Espino, O., Plata-Pérez, F., Camacho-Ronquillo, J., Hernández-Hernández, J., Franco-Guerra, F., Aguilar-Ortega, B. y Mendoza-Martínez, G. (2011) El venado cola blanca en la mixteca poblana. *Therya*, 2(2): 103-110.