



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Facultad de Planeación Urbana y Regional

Lic. Ciencias Ambientales

TESIS

**ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USOS DE SUELO PARA LOS AÑOS 1984, 2000 Y
2008 DE LA CUENCA DEL RÍO TENANCINGO, ESTADO DE MÉXICO**

Alumna:

Gloria Isabel Reyes Anistro

Director de Tesis:

Dr. Salvador Adame Martínez

DEDICATORIA

A mi hijo, por haber llegado en el momento más indicado a mi vida, gracias por darme el valor y la fuerza necesaria para enfrentarme a cualquier reto de hoy en adelante, aunque aún eres pequeño ya eres el motivo más importante que tengo para salir adelante y para concluir todo lo que he comenzado, gracias pequeño por llenarme de tanta felicidad y por ser parte de este y todos los logros que vienen en camino, todo es y será ahora por ti, gracias por existir, te amo.

A mi madre, por ser para mí y muchas personas un ejemplo a seguir, por apoyarme en todas y cada una de las etapas de mi vida y sobre todo por dar siempre lo mejor de ti para verme realizada como persona y ahora como profesionalista, gracias mamá por estar siempre a mi lado y por ser la fuente de inspiración más grande y preciada que tengo, espero llenarte de orgullo y felicidad, te amo.

A mi esposo, por apoyarme cada momento, por darme la fuerza para luchar y perseguir mis objetivos y sueños, pero sobre todo por ayudarme a encontrar siempre el camino de vuelta cuando me siento perdida, gracias por darme el mejor regalo de mi vida, por ser mi mejor amigo, el amor de mi vida, mi apoyo incondicional, mi confidente y mi soporte en todo momento, te amo.

A mi hermana, por alentarme siempre a seguir, por todo su apoyo y cariño incondicional, sobre todo por ayudarme a levantarme cada vez que me caigo y por ser una parte especial y fundamental para mí, gracias por estar siempre a mi lado, por ser mi mejor amiga y mi pequeño tesoro, he concluido esta etapa en mi vida y lo que más anhelo es servir como inspiración y ejemplo para ti y que logres todo lo que te propones, te amo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México, en especial a la Facultad de Planeación Urbana y Regional, por permitirme ser parte de su organismo y brindarme los conocimientos adquiridos a lo largo de la licenciatura para darme las herramientas necesarias y formarme como profesionalista.

A todos y cada uno de mis profesores que durante la licenciatura compartieron sus conocimientos y que ayudaron en todo momento a concluir esta etapa, sobre todo a aquellos que se ganaron mi admiración y han servido como inspiración para mi vida a futuro.

A mi director de tesis el Dr. Salvador Adame Martínez por su tiempo y dedicación para el desarrollo y culminación de esta tesis que me permitirá obtener el grado de licenciada en Ciencias Ambientales, gracias por todo su apoyo y por ser un ejemplo a seguir para mí.

A mis sinodales, el Dr. José Juan Méndez y el Mtro. Ricardo Farfán Escalera por el tiempo que dedicaron a la revisión de esta tesis y sobre todo por sus aportaciones que me han servido para mejorar y concluir este trabajo.

A mi esposo por ayudarme a hacer las tomas fotográficas y todo lo correspondiente al diseño de imágenes, portadas y carátulas, gracias por todo tu apoyo.

A mis compañeros de licenciatura por todas las experiencias vividas durante la época de escuela, por crecer junto conmigo y por compartir todo tipo de momentos que nos han llevado a estar en el punto donde nos encontramos.

A mis amigos y familiares que de alguna manera me han alentado a seguir y no rendirme, por compartir experiencias y conocimientos, gracias por su apoyo incondicional.

INTRODUCCIÓN

I

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL SOBRE COBERTURA VEGETAL Y USOS DE SUELO

1.1	Definición de suelo	1
1.1.1	Formación y composición de suelos	3
1.2	Uso y cobertura del suelo	6
1.2.1	Uso de suelo	6
1.2.2	Cobertura vegetal	8
1.2.2.1	Clasificación y tipos de vegetación	8
1.3	Cambios de usos de suelo	14
1.3.1	Generalidades	14
1.3.2	Procesos de cambio de usos de suelo	16
1.3.3	Factores relacionados al cambio de usos de suelo	19
1.3.4	Cambios a nivel global	20
1.3.5	Cambios a nivel nacional	21
1.3.6	Cambios a nivel estatal	23
1.4	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	24
1.4.2	Clasificación de imágenes	25
1.5	Fotografía aérea	26

CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA ACERCA DE CASOS DE ESTUDIO CORRESPONDIENTES A CAMBIOS DE USOS DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL.

2.1	La dinámica del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación	28
2.2	Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México	31
2.3	Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México	32
2.4	Cambios en cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades	33

	rurales en el noroeste de Quintana Roo	
2.5	Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990 – 2000)	35

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO BIOFÍSICO

3.1	Localización geográfica	39
3.2	Cobertura vegetal y usos de suelo	40
3.2.1	Cobertura y usos de suelo en 1984	46
3.2.2	Cobertura y usos de suelo en 2000	48
3.2.3	Cobertura y usos de suelo en 2008	50

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1	Dinámica de la cobertura vegetal y usos de suelo de 1984-2008	54
4.2	Análisis de áreas ganadoras y perdedoras	66
4.2.1	Análisis general	66
4.2.2	Análisis particular	69
4.3	Análisis antrópico de usos de suelo versus cobertura vegetal	83

	CONCLUSIONES	88
--	--------------	----

	ANEXO FOTOGRÁFICO	90
--	-------------------	----

	BIBLIOGRAFÍA	94
--	--------------	----

CUADROS

Cuadro 1	Distribución municipal	40
Cuadro 2	Usos del suelo y vegetación y claves en la cuenca del río Tenancingo	41
Cuadro 3	Superficie y porcentaje de categorías, 1984	49
Cuadro 4	Superficie y porcentaje de categorías, 2000	52
Cuadro 5	Superficie y porcentaje de categorías, 2008	55
Cuadro 6	Superficie de categorías para los tres años	58
Cuadro 7	Usos de suelo antrópico	85
Cuadro 8	Usos de suelo natural	86
Cuadro 9	Usos de suelo antrópico y natural	87

FIGURAS

Figura 1	Municipios de la cuenca del río Tenancingo	39
Figura 2	Cobertura y usos de suelo en 1984	48
Figura 3	Porcentaje de distribución, 1984	50
Figura 4	Cobertura y usos de suelo en el 2000	51
Figura 5	Porcentaje de distribución, 2000	53
Figura 6	Cobertura y usos de suelo en el 2008	54
Figura 7	Porcentaje de distribución, 2008	56
Figura 8	Comportamiento de los AH	59
Figura 9	Comportamiento de AR-RE	60
Figura 10	Comportamiento de AT	61
Figura 11	Comportamiento de BE	62
Figura 12	Comportamiento de BMM	63
Figura 13	Comportamiento de BPE – EP	64
Figura 14	Comportamiento BPEVS	65
Figura 15	Comportamiento de BT	66
Figura 16	Comportamiento de C	67
Figura 17	Comportamiento de PI	68
Figura 18	Comportamiento de SBCSVSAH	69
Figura 19	Asentamientos Humanos - Agricultura Temporal	74
Figura 20	Agricultura Temporal-Agricultura de Riego y Riego Eventual	75
Figura 21	Bosque Encino - Agricultura Temporal	76
Figura 22	Bosque Mesófilo de Montaña-Pastizal Inducido	77
Figura 23	Bosque de Pino y Encino-Agricultura Temporal	78
Figura 24	Bosque de Pino y Encino con Vegetación Secundaria-Agricultura Temporal	79
Figura 25	Figura 24. Bosque de Táscate-Agricultura Temporal	80
Figura 26	Figura 24. Bosque de Táscate-Agricultura Temporal	81
Figura 27	Pastizal Inducido-Bosque Mesófilo de Montaña	82
Figura 28	Selva Baja Caducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea-PI	83
Figura 29	Vegetación y usos de suelo en la cuenca del río Tenancingo	87

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

La problemática ambiental es un término con el que se vive día a día, continuamente se escuchan problemas relacionados con el medio ambiente y los recursos naturales. Por ejemplo, sequía, contaminación, escasez de agua, deforestación, cambios de cobertura y uso de suelo, entre otros y se les asocia con diversos factores socioeconómicos, políticos, culturales y con el calentamiento global del planeta, entre otros.

En respuesta a ello, desde hace varias décadas, se han llevado a cabo investigaciones por parte del sector social, gubernamental y académico para tratar de dar solución a dichos problemas. En México, el sector gubernamental ha emitido políticas de corte ambiental, se han creado instituciones como la Secretaría del medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT antes SEMARNAP), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC antes INE), entre otros. Además se han elaborado Leyes como la: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Ley General de Cambio Climático, etc.

Ello ha implicado diversas estrategias de solución, una gran inversión de esfuerzos colectivos como individuales y sobre todo se han destinado importantes recursos monetarios a fin de reducir los impactos negativos que causan los problemas ambientales que inciden o están directamente relacionados con los sistemas naturales, económicos y sociales.

Uno de los problemas ambientales más importantes y preocupantes en México es el cambio de cobertura y uso de suelo, asignándole a la deforestación de bosques y selvas la principal causa. Se ha reconocido por la parte gubernamental que en nuestro país el ritmo de deforestación llega hacer alarmante y que está afectando la biodiversidad de los ecosistemas y que cientos o miles de especies de flora y fauna se encuentran en peligro de extinción.

La deforestación a su vez ocasiona una serie de impactos en cadena, como es: la disminución de la recarga del agua en el suelo; aumento de los escurrimientos superficiales y por consiguiente aumentan las probabilidades de inundaciones; alteraciones climáticas locales y regionales, y cambios de cobertura y uso de suelo.

El término “cambios en el uso del suelo” es reconocido actualmente por diferentes organizaciones e instituciones dedicadas a la investigación ambiental como uno de los temas más importantes en cuestiones de problemática ambiental y que están relacionados con las actividades económicas, como es el caso de la cuenca del río Tenancingo, donde desde finales del siglo pasado, presenta cambios de uso de suelo ocasionado por una reconversión productiva, de cultivos tradicionales de maíz y frutales por la floricultura

En la cuenca del río Tenancingo, zona de estudio de esta investigación, la reconversión productiva básicamente ha consistido en el establecimiento de grandes zonas de invernadero y de áreas a cielo abierto para la producción florícola. Y ha sido la “rentabilidad económica” de la flor el principal factor detonante de los invernaderos sobre todo en los municipios de Villa Guerrero y Tenancingo, aunado a las políticas agrícolas que implementa el gobierno del Estado de México, a través de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario.

Por su parte, cabe señalar que este trabajo de investigación forma parte de un proyecto Conacyt denominado “*Dinámica de la cobertura vegetal y uso de suelo en la zona florícola de Villa Guerrero y Tenancingo, estado de México*” a cargo de mi Director de Tesis.

PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

El medio natural engloba a los ecosistemas y a todas las especies tanto naturales como vegetales y su interacción, así como todos los ciclos biogeoquímicos, por ejemplo el ciclo del carbono, del nitrógeno, entre otros. Todos estos factores, han permitido que la vida se reproduzca, desarrolle y que se adapte a los cambios naturales que se presentan al paso del tiempo para que prevalezca el equilibrio ecológico del planeta. Por otro lado, el hombre a lo largo del tiempo ha intentado asegurar su supervivencia creando grupos y formando sociedades que a su vez han explotado al medio ambiente (recursos naturales) y gracias a eso se ha colocado en la cima de la cadena alimenticia.

Estos dos aspectos (natural y social) son parte del mundo y asegurar una buena relación entre ambos ha sido complicado ya que por un lado el ser humano en su afán de buscar el “desarrollo” ha explotado los recursos naturales para acelerar su producción y satisfacer las necesidades de su población creciente, como consecuencia ha ido transformando paisajes naturales en paisajes urbanos, agrícolas, comerciales, industriales, entre otros, lo cual trae consigo consecuencias que a largo plazo pueden llegar a ser irreparables, poniendo en riesgo no sólo la supervivencia del medio natural sino también la del hombre, de ahí se deriva la importancia que conlleva el cambio en el uso del suelo.

Actualmente las pérdidas de vegetación, a nivel mundial, arrojan cifras alarmantes, selvas y bosques en todo el mundo se han ido perdiendo y algunas han llegado a perder más de la mitad de su extensión territorial, trayendo consigo problemas relacionados con disminución de servicios ambientales, tales como captura de carbono, agua, deforestación, erosión de suelo, deterioro de paisaje y entre los más importantes se encuentra el calentamiento global, esto a su vez trae consigo escasez de recursos naturales que son los que mantienen la economía del mundo.

En México los cambios de cobertura vegetal son transformaciones de bosques y selvas a zonas agrícolas y urbanas (principalmente). Hablando de agricultura, México es uno de los principales países productores de flor a nivel mundial. Se estima que actualmente se cultivan

22 mil hectáreas, casi la mitad de ellas para el ornamento, y la otra mitad es destinada a otros usos industriales. El Estado de México, de acuerdo a la SAGARPA (2007) ocupa el primer lugar en este tipo de cultivos con 5 mil 500 hectáreas, y, dentro de este estado, los municipios de Tenancingo y Villa Guerrero cultivan casi 2 mil 187 hectáreas de flor, 18% bajo invernadero y el 82% a cielo abierto.

Esta actividad ha venido incrementándose de manera significativa a través de la construcción de invernaderos a costa de la deforestación de la cobertura vegetal y del desplazamiento de cultivos tradicionales: maíz, aguacate y durazno. Se puede señalar que este desplazamiento se debe a la “rentabilidad económica” de la flor que ha sido el principal factor detonante de los invernaderos en la cuenca, aunado a las políticas agrícolas que implementa el gobierno del Estado de México, a través de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Este caso es muy notorio dentro de la cuenca del río Tenancingo en el Estado de México, en la cual a través de diversos proyectos de investigación y por datos establecidos por el INEGI, en diferentes periodos de tiempo, se ha podido identificar a éste fenómeno de cambio de usos de suelo como un proceso en aumento que se puede inferir va de la mano con los cambios de actividades económicas en la población.

Los análisis cartográficos permiten apreciar de manera gráfica los cambios en la cobertura de vegetación en determinadas zonas, en este caso se ha podido apreciar la disminución de cubierta vegetal dentro de la cuenca, la cual ha sido removida para dar paso a la agricultura y ganadería, y en los últimos años ha ido en auge una nueva actividad: la floricultura, trayendo consigo nuevas técnicas de riego y de producción, invernaderos o a cielo abierto, éstas técnicas resultan más agresivas para el medio ambiente sobre todo por la alta demanda del producto.

Los problemas relacionados con la pérdida de vegetación son diversos, depende mucho de la zona, condiciones y características que se presenten en la misma. Por ejemplo, la SEMARNAT (2005) ha identificado diferentes efectos de este fenómeno como: la deforestación, erosión y pérdida de productividad, además de que contribuye al aumento del calentamiento global. Todos estos impactos se deben considerar no solo a nivel mundial, sino

a bajas escalas, con el objetivo de tener en cuenta todas las consecuencias, que los cambios en el uso del suelo llevan consigo, para poder darle la importancia que requiere así como establecer nuevas políticas que ayuden a controlar este problema.

JUSTIFICACIÓN

Las investigaciones sobre los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo son de gran importancia en el ámbito medioambiental siendo un tema de interés para los investigadores, instituciones, sociedad y gobierno. Estos procesos de cambio están asociados a impactos ecológicos importantes a diferentes escalas. Por ejemplo, localmente influyen en el proceso de degradación de suelos, cambios en el microclima y la pérdida de biodiversidad; a escala regional influyen en el funcionamiento de las cuencas hidrográficas y de los asentamientos humanos, a nivel global, coadyuvan a las emisiones de gases de efecto invernadero que dan por resultado el problema del cambio climático global.

El estado de México es caracterizado por su biodiversidad, sin embargo de acuerdo con instituciones como la SEMARNAT y el INEGI se afirma que existe una pérdida significativa en las coberturas naturales (bosques y selvas), esto para dar paso asentamientos humanos (principalmente) y actividades productivas, para efectos de ésta investigación se eligió la cuenca del río Tenancingo ya que es una zona en la cual es muy notorio el proceso de transformación territorial, se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca del Amacuzac (Río Balsas), al sur del Estado de México y desde hace varias décadas se presentan cambios de uso de suelo y vegetación. Además de formar parte del proyecto de investigación intitulado “Dinámica de la cobertura vegetal y uso de suelo en la zona florícola de Villa Guerrero y Tenancingo, estado de México”.

La investigación se centra en la elaboración de mapas de uso de suelo y vegetación, en tres momentos, a través de fotografías aéreas e imágenes de satélite SPOT y utilizando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS. Este tipo de investigaciones resultan importantes ya que sirven como apoyo a futuros estudios por ejemplo, elaboración de proyecciones para establecer escenarios a corto, mediano o largo plazo acerca de la evolución de alguna problemática relacionada con el territorio. Por otro lado, facilitan el establecimiento de políticas ambientales correspondientes a los usos de suelo, como son el Ordenamiento Territorial y Ordenamiento Ecológico, que ayudan al gobierno a tomar las decisiones adecuadas para a llevar a cabo lineamientos que mejoren la interacción sociedad – medio

ambiente con la finalidad de coadyuvar a la protección, preservación, restauración y aprovechamiento racional de aquellos elementos que integran al medio ambiente.

En el presente trabajo de investigación se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis.

Hipótesis:

Los cambios de usos de suelo dentro de la cuenca del río Tenancingo en el Estado de México son resultado de las conversiones de la superficie arbórea (bosques y selvas) en asentamientos humanos y áreas destinadas a la agricultura de riego y riego eventual.

Objetivo general:

Analizar los cambios de uso de suelo y vegetación en el período 1984-2008, en la cuenca del río Tenancingo, Estado de México.

Objetivos particulares:

- Describir algunos conceptos referentes a cobertura y usos de suelo.
- Conocer y describir algunos casos de estudio similares al presente.
- Caracterizar el medio físico de la zona de estudio.
- Analizar los resultados para conocer el comportamiento del uso del suelo y vegetación en la cuenca.

METODOLOGÍA

Método

El método empleado para la presente investigación es el método hipotético deductivo partiendo de:

- Observación. En esta etapa se detectó y se observó el problema analizado en la presente investigación referente al cambio en el uso y cobertura del suelo como son sus posibles causas, patrones de comportamiento y consecuencias apreciables en la zona de estudio.
- Planteamiento de hipótesis. La cual fue resultado de la observación del fenómeno, lo cual llevó a formular una idea que afirma las causas del problema para posteriormente desarrollar los objetivos y el cuerpo del presente proyecto.
- Deducción de conclusiones. Se fueron formulado a partir de los conocimientos generados de los objetivos específicos y análisis de resultados que a su vez llevaron al cumplimiento del objetivo general.
- Verificación. Para comprobar tanto resultados como hipótesis y fortalecer las conclusiones establecidas se realizó un recorrido de campo en la cuenca que fue respaldado por un archivo fotográfico.

Tipo de investigación.

Se trata de una investigación mixta, por un lado se tiene la parte cuantitativa que engloba todo lo relacionado a los datos numéricos obtenidos y organizados en bases de datos para su posterior interpretación, mientras que por otro lado se realizó un análisis cartográfico el cual consistió en procesar las imágenes en software para organizar y describir la información.

Técnicas de investigación.

Las técnicas empleadas para el presente trabajo van en función a los capítulos establecidos dentro del mismo, los cuales se encuentran divididos de la siguiente manera:

- 1) Técnicas de investigación bibliográfica. Que se concentra en el primer capítulo y consiste en la consulta bibliográfica y documental, relacionada a la descripción de algunos conceptos utilizados en esta investigación.
- 2) Técnicas de investigación documental. En la cual se revisaron algunos documentos en los que se conocieron diferentes casos de estudios similares al presente con la finalidad de tener una idea más clara acerca de la problemática y la metodología que se ha utilizado para otras investigaciones relacionadas a ésta.
- 3) Técnicas de investigación descriptiva e interpretativa, que permitió la caracterización del medio físico de la zona de estudio, resaltando sus principales características como resultado de interpretación de información cartográfica.
- 4) Técnicas de investigación cartográficas y estadísticas, en las cuales se procedió a la manipulación de la información, la elaboración e interpretación de cartografía para estudiar el fenómeno en cuestión así como la creación de bases de datos y de fuentes numéricas para el entendimiento y la discusión de los resultados finales.

Herramientas.

Las herramientas utilizadas para la presente investigación fueron: fotografías aéreas e imágenes satelitales, mismas que permitieron observar y determinar los usos del suelo y la vegetación en la zona de estudio. El programa que se empleó fue el Sistema de Información Geográfica Arc Gis, en el cual se creó la cartografía necesaria para este estudio.

El procedimiento de la elaboración cartográfica consistió en una primera interpretación de los ortofotomapas del IIIGCEM y de las imágenes de satélite. Posteriormente, se revisaron los diferentes usos del suelo y vegetación resultantes del proceso de interpretación de imágenes y

revisión de cartas edafológicas de la zona, además de sus respectivos linderos delimitados en la interpretación, sobre todo en donde exista duda o no estaban definidos claramente. Una vez concluido el trabajo de campo, se hizo una segunda interpretación para corregir las líneas de contacto entre los diferentes usos del suelo.

Por otro lado, el programa Microsoft Excel también fue una herramienta fundamental, ya que permitió crear las bases de datos y las operaciones estadísticas necesarias para poder realizar un análisis más certero y así alcanzar los objetivos de este proyecto de investigación.

El software y los programas que se necesitaron y usaron para la elaboración de la cartografía y el manejo de las bases de datos fueron ArcGis y el programa Microsoft Excel y Microsoft Word. En lo que corresponde a los materiales que se utilizaron fueron cartas topográficas y temáticas del INEGI 2000, así como ortofotomapas del IGECEM 1984 y 2000 e imágenes de satélite SPOT 2008.

Estructura del Proyecto de Investigación.

Este trabajo consta de cuatro capítulos establecidos de la siguiente manera:

Capítulo 1.

En este capítulo se realizó una descripción de diferentes conceptos correspondientes al suelo y sus características físicas, químicas y naturales así como usos de suelo y sus, cambios de usos de suelo y procesos relacionados en tres niveles: global, nacional y regional con la finalidad de entender los términos utilizados en el presente trabajo los cuales fueron establecidos autores e instituciones.

Capítulo 2.

En este capítulo se realizó una revisión en línea de algunos documentos publicados en diferentes revistas recopilados en Redalyc y que corresponden a casos de estudio similares a

este proyecto de investigación tanto dentro como fuera del país con la finalidad de analizar la metodología y técnicas que emplearon para sus investigaciones, lo cual facilitó de manera significativa el establecimiento de una propia metodología.

Para la elección de los casos de estudio se realizaron fichas técnicas en las cuales se resumió la información y se estudiaron las características de cada uno de los estudios y que fueran similares a la problemática establecida dentro de la zona de estudio de este proyecto quedando solo cinco estudios que se mencionan en este capítulo.

Capítulo 3.

En el presente capítulo se caracterizó la zona de estudio y su medio biofísico detectando puntos básicos y claves para la comprensión del área y los fenómenos existentes en la misma.

Se inició con la delimitación de la cuenca y su ubicación en coordenadas geográficas, así como las porciones municipales que están dentro de la misma determinando el porcentaje de influencia de cada municipio. Posteriormente se hizo un análisis de usos de suelo de la zona que partió de un análisis cartográfico de imágenes satelitales y ortofotos proporcionadas por el INEGI en el año 2005, por medio de las cuales se fue identificando y delimitando los usos de suelo y su mayor incidencia territorial, así como las localidades que se encuentran dentro de la cuenca.

Capítulo 4.

En este capítulo se analizaron datos estadísticos y cartográficos por medio del software Arc Gis, en el cual se obtuvieron mapas correspondientes a usos de suelo de los años: 1984, 2000 y 2008. Como ya se había mencionado antes, este proyecto es extensión de otro ya existente, por lo que la cartografía de los años de 1984 y 2008 ya estaba elaborada, el aporte de éste es el correspondiente a la elaboración de la cartografía del año 2000 y a la recategorización de las categorías establecidas en los otros dos periodos de tiempo.

Una vez obtenida la cartografía a través del mismo programa se obtuvieron los datos estadísticos con los cuales se fueron elaborando las bases de datos que se analizaron para la obtención de tablas y gráficas y por consiguiente la interpretación de la información.

La interpretación de información se dividió en tres partes:

- 1) Análisis estadístico y cartográfico para los tres años establecidos con la finalidad de determinar el comportamiento de los cambios de usos de suelo por medio de la sobreposición de mapas y el manejo de datos numéricos para obtener tablas y gráficos.
- 2) Análisis estadístico y cartográfico del comportamiento de cada categoría con respecto a otra para determinar las áreas ganadoras y perdedoras en porcentajes.
- 3) Análisis estadístico de categorías agrupadas en dos grupos: usos de suelo y cobertura vegetal para determinar cuál tiene mayor incidencia dentro de la zona de estudio y cuál presenta mayor riesgo a costa de otra de disminuir.

Una vez interpretada la información y realizados los tres análisis mencionados se redactaron las conclusiones correspondientes.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL SOBRE COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO

En este capítulo se abordan los temas relacionados con el uso de suelo y cobertura vegetal, con la finalidad de tener claridad en el uso y manejo de algunos de los términos que se utilizaron. Primero se habla del suelo, su formación, composición y clasificación. En segundo lugar, se reporta el uso y cobertura del suelo, y en tercer lugar se aborda los cambios de uso y cobertura del suelo, y los procesos y factores afines con el cambio de uso de suelo.

1.1. Definición de suelo.

Dar una definición absoluta o precisa del suelo es muy complejo debido a los diversos enfoques que se le dan al recurso, sin embargo, existen varias definiciones y puntos de vista que se le pueden asignar al mismo para fines de este proyecto de investigación. Algunos conceptos generales sobre suelo y otros específicos. Un ejemplo de un concepto general es el que reporta Graetz (1981) quién señala que a diferencia de las rocas, el suelo es la superficie suelta de la tierra, y una definición un poco más específica es la de Nikiforoff (1959), que define al suelo como la piel excitada de la parte subaérea de la corteza terrestre o el suelo es un cuerpo natural de materia mineral y orgánica que cambia o ha cambiado en respuesta al clima y a los organismos. A continuación se mencionan algunas de definiciones del suelo más específicas que fueron de mucha importancia para entender las bases de este proyecto.

Thompson y Troeh (1988) dicen que cualquier definición asignada al suelo depende necesariamente del punto de vista de la persona que lo formule, el edafólogo, considerando el suelo como un medio de cultivo, lo define como una mezcla de materiales minerales y orgánicos capaz de soportar la vida vegetal. Para el pedólogo, que estudia el suelo como una entidad distinta sería el producto natural formado a partir de la roca meteorizada por la acción del clima y de los organismos vivos.

Como se puede observar de los dos términos anteriores, el concepto de vida es esencial en ambas definiciones, en la primera, el suelo soporta la vida, en la segunda, la vida interviene en

la formación del suelo. Los dos puntos de vista son correctos, el suelo soporta a los organismos vivos y sus características se hallan parcialmente determinadas por la acción de dichos organismos.

De acuerdo con Patrick (1980), el suelo es el continuo de espacio-tiempo que forma la parte superior de la corteza terrestre. El origen de la palabra *suelo* ilustra otro aspecto de su carácter. Proviene del latín *solum*, que significa *base* o *fondo*. Una definición más completa y compleja es la de Boul y otros (1989), quienes sostienen desde el punto de vista de la “Génesis del suelo”, que el suelo es más que un medio de crecimiento para las plantas, sino que se considera al suelo como una colección de cuerpos naturales, importantes como tales, relacionados entre sí y con otros factores y fenómenos que pueden evaluarse o medirse a nivel genético para determinar su nivel y tipo de productividad.

Por su parte, Cepeda (1991) afirma que el suelo puede considerarse como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos, bajo la influencia del clima y del medio biológico. Se divide en horizontes y suministra los nutrimentos y el sostén que requieren las plantas. Esta definición tienen algunos elementos comunes con la de Hillel (1998) que considera al suelo como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera, que influye el clima y el ciclo hidrológico del planeta y que sirve como medio de crecimiento para una variada comunidad de organismos vivos.

Una definición más completa es la que presenta Jaramillo (2002) quién reporta la definición de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984) y señala que el suelo:

- Es el material no consolidado en la superficie de la tierra que sirve como medio natural para el crecimiento de plantas terrestres.
- Es el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales: material parental, clima, macro y microorganismos y topografía, todos actuando

- Durante un lapso de tiempo y generando un producto: el suelo, que difiere del material del cual se derivó en varias propiedades y características físicas, biológicas y morfológicas

Finalmente, López (2010) afirma que el suelo es una mezcla de minerales, materia orgánica, bacterias, agua y aire. Se forma por la acción de la temperatura, el agua, el viento, los animales y las plantas sobre las rocas. Estos factores descomponen las rocas en partículas muy finas y así forman el suelo.

Como se puede observar hay varias definiciones de suelo, esto se debe a las múltiples perspectivas que puede tomar el simple concepto, cada una de estas formas de ver al suelo, le da al estudio diferentes enfoques, por ejemplo el enfoque edafológico, agronómico, etc. Pese a los diversos enfoques que se le pueden dar al suelo para intentar conseguir la definición más certera, es importante considerar que cada uno de ellos aporta elementos fundamentales para su comprensión y estudio, no sólo como un sistema físico, sino el entendimiento a fondo de sus procesos, mecanismos, utilidades y cambios que ha ido presentando el recurso sobre todo en estos últimos años, lo cual ha influenciado de manera directa la producción de alimentos y de vegetación.

Sin embargo, las definiciones de suelo que se consideran más apropiadas en el presente trabajo de investigación son las de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984) y la de López (2010).

1.1.1. Formación y composición de suelos.

A continuación se hace un breve análisis acerca de los procesos de formación de los suelos, con la finalidad de comprender la importancia que tiene este valioso recurso natural.

Ortiz (2000) señala que el clima, resulta ser el factor dominante en la formación del suelo; influye, en gran medida, por la precipitación y la temperatura. La precipitación regula el

régimen de humedad y aire del suelo y determina las tendencias predominantes en la configuración del mismo.

El mismo Ortiz (2000) señala que Dokouchev es considerado el padre de la ciencia del suelo y en sus estudios consideró que el suelo es el resultado de una determinada combinación de factores formadores. Esta concepción del suelo fue expresada posteriormente por Jenny en 1941 según la siguiente ecuación:

$$S = f (cl, o, r, p, t)$$

Dónde:

S= Suelo

f= Función

cl= Clima

o= Organismos

r= Relieve

p= Roca madre

t= Tiempo

Esta ecuación es muy importante pues representa los factores formadores y la combinación de ellos originará un determinado tipo de suelo. Cabe señalar también que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo estarán determinadas por la combinación de estos factores formadores.

Existen autores que describen el proceso de formación de los suelos como Graetz (1981) y Cepeda (1991), que reportan que los suelos se han formado de materiales madres por la influencia de los procesos de desintegración y translocación durante largos periodos de tiempo. Y que las actividades físicas y químicas desintegran las rocas y los fragmentos de éstas, transformándolas en minerales gruesos y finos. La desintegración física del suelo es causada por las siguientes acciones:

- Cambios diarios y estacionales de temperatura

- Hielos y deshielos
- Erosión
- Prácticas agrícolas
- Acción de plantas y animales

Lo anterior concuerda con Ashman and Puri (2002) y Casanova (2006) quienes afirman que el origen primario de los suelos se encuentra en las rocas. Estas por efecto de un conjunto de procesos simultáneos y secuenciales de gran complejidad, se van desintegrando hasta convertirse en pequeños fragmentos. Estas transformaciones no sólo involucran cambios físicos sino también modificaciones químicas y físico-químicas. Mientras los materiales geológicos (las rocas) se encuentren sufriendo estas modificaciones, aún no puede denominarse un suelo. Solamente cuando aparezcan las arcillas como producto de una síntesis de minerales y comience a acumularse materia orgánica, se puede denominar un suelo.

Estas acciones constituyen el primer paso de una serie de procesos, pues de allí en adelante comienza a producirse una redistribución de componentes en el suelo, de los cuales la misma arcilla es uno de los más significativos. Conjuntamente se produce un transporte de carbonatos en profundidad y de otras sales más solubles. La intensidad y profundidad con que se produzcan estos cambios van a constituir un reflejo de las condiciones del medio, es decir, la cantidad e intensidad de las precipitaciones y las fluctuaciones de temperatura, sólo por considerar los dos factores más preponderantes. (Casanova, 2006)

Con el tiempo, los materiales parentales sufren modificaciones tan profundas que ya no son reconocibles como tales, pues se han producido cambios en la apariencia física, es decir, en la morfología. Existirán diferencias desde la superficie hacia las capas más profundas, de tal manera que el suelo superficial será de un color más oscuro por efecto de la mayor acumulación de materia orgánica. El suelo subsuperficial será de una mayor densidad por efecto de la acumulación de arcillas. (Casanova, 2006). Estas capas claramente diferenciadas se denominan horizontes que, cuando se consideran colectivamente constituyen el perfil del suelo.

Como se puede observar, de acuerdo a los diferentes autores citados anteriormente, la formación del suelo está estrechamente ligada a fenómenos de carácter físico o químico, en el cual las variables fundamentales como el clima, la humedad, la temperatura y las condiciones generales del área específica determinan tanto la formación y el tipo de suelo que existirá en diversas zonas, así mismo, todo proceso de formación del suelo está determinado por la roca madre y las mezclas de minerales con materia orgánica que es lo que definirá el nivel y tipo de productividad del suelo.

Con lo que respecta a la composición del suelo, Narro (1994: 15) reporta que el suelo está compuesto de partículas sólidas, agua y aire. Los sólidos son partículas de minerales y orgánicas de diferentes formas, tamaños y arreglos, y constituyen el esqueleto o matriz del suelo, el cual contiene una cantidad variable de poros: éstos pueden estar llenos de la solución del suelo o de aire. Un suelo cultivado promedio contiene aproximadamente 45 % de minerales, 5% de materia orgánica, 15 a 35% de agua y el resto (15 a 35%) está ocupado por aire.

Finalmente, Ortiz (2000) señala que un suelo ideal para el desarrollo de las plantas es el de textura franca que contiene aproximadamente: material mineral 45%, materia orgánica 5%, agua 25% y aire 25%. Cabe resaltar que alrededor de la mitad del volumen es espacio poroso (agua y aire), aunque la proporción de los componentes varía de tiempo en tiempo y de lugar a lugar.

1.2. Uso y cobertura del suelo.

1.2.1. Uso de suelo.

El estudio de uso del suelo es el procedimiento mediante el cual se determina la distribución de los diferentes tipos de utilización de las tierras, y los posibles cambios que se puedan realizar para un mejor aprovechamiento de las mismas, como información integrante de los estudios básicos para determinar la factibilidad de los proyectos de desarrollo. (Lucke, 1986). Igualmente menciona que se habla de uso del suelo cuando las tierras son utilizadas o

explotadas por el ser humano asignándoles un uso en forma deliberada, incluyendo la preservación absoluta de áreas silvestres.

El uso del suelo o del territorio básicamente se resume al aprovechamiento que el hombre le da al suelo o terreno, ya sea para usos agropecuarios, forestales, urbanos o algún otro y que se esté desarrollando en el presente. En síntesis, el uso del suelo se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan o se desarrollaron sobre una cobertura según lo reporta Anderson (1976), lo cual concuerda con Medellín (2002) al mencionar que el uso de suelo es un término clave de las intervenciones humanas en la naturaleza (a través de las actividades económicas).

Existe diversos otros autores como la FAO (1985) que afirma que el uso de suelo puede describirse como usos mayores del suelo, que se refieren a divisiones generales de uso de suelo rural y no urbano, por ejemplo, zonas forestales, agricultura y ganadería, mientras que Buol (1995) sostiene que el uso del suelo se debe basar en la capacidad de éste para proporcionar elementos esenciales, pues éstos son finitos y limitan, por ende, la productividad.

A manera de resumen se puede decir que el uso de suelo está directamente correlacionado con las actividades económicas. Por ejemplo, en el presente trabajo de investigación la zona de estudio es la cuenca del río Tenancingo, misma que se caracteriza por ser eminentemente rural, por lo tanto las actividades que sobresalen son las primarias como es la agricultura y la ganadería.

Por otra parte, el concepto de “uso del suelo” en ocasiones se confunde con el concepto de “cobertura”, en ocasiones se habla de uso de suelo como cobertura y viceversa. Sin embargo, ambos conceptos tienen significados diferentes, es por eso que en el punto 1.2.4, se hace un análisis de estos conceptos con el propósito de brindar una idea más clara y amplia de los mismos.

1.2.2 Cobertura vegetal

Se entiende a la cobertura vegetal como la cubierta de vegetación existente en una zona determinada del territorio y ésta varía de acuerdo a las características fisiográficas de diferentes zonas. De acuerdo con García y Palma (2003), la cobertura vegetal está compuesta por diferentes pisos altitudinales, como son: el estrato superior integrado por árboles cuyas copas ocupan el estrato alto; luego el intermedio, compuesto por los arbustos; y el rasante, por las hierbas. La cobertura vegetal tiene la capacidad de captar agua de lluvia y prolongar el régimen de las corrientes de agua para el uso doméstico, la recreación y la agricultura.

De acuerdo con la SEMARNAT (2002) la cubierta vegetal de México es muy diversa: existen bosques templados, mesófilos de montaña, selvas, matorrales xerófilos y pastizales, entre otros tipos de vegetación. En 2002, cerca de 73% de la superficie nacional estaba cubierta por vegetación natural, mientras que el restante lo ocupaban zonas agropecuarias, plantaciones forestales, urbanas y cuerpos de agua.

1.2.2.1 Clasificación y tipos de vegetación.

En este apartado se analizan las diversas clasificaciones de cobertura vegetal en México, que de acuerdo con diferentes fuentes se dividen por regiones, las cuales son determinadas por sus características fisiográficas y que influyen directamente en los tipos de vegetación.

La diversidad biológica de México ha sido ampliamente reconocida, particularmente por el número de especies de vertebrados y plantas que habitan en su territorio (Rzedowski 1978, 1998; Flores-Villela y Gerez, 1994; Mítermier, 1997 y Ceballos, 2002), razón por la que se distingue como país megadiverso.

Uno de los determinantes principales de esta alta diversidad es el hecho de que en este territorio concluyen dos grandes regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical y también porque, por su extensión latitudinal y longitudinal y su muy diversa orografía, se presentan casi todos los climas del planeta. (CONABIO, 1997)

Existen diversos criterios e indicadores para caracterizar este nivel de organización de la biodiversidad (Cervantes y Zamora, 1990 y CONABIO, 1997). Uno de los más empleados es el reconocimiento de comunidades vegetales, también referido en forma más amplia como tipos de vegetación, que se definen utilizando criterios primordialmente fisionómicos y estructurales de la comunidad, los cuales están determinados por factores climatológicos, geológicos y edafológicos (Miranda y Hernández X, 1963; Rzedowski 1978).

La vegetación terrestre de México, así como sus estados seriales de sucesión secundaria, han sido descritos y clasificados por diversos autores (Miranda 1957, 1964; Sarukahán 1964; Miranda y Hernández X, 1963; Pennigton y Sarukahán 1968; Flores, 1971; Puig, 1976; Rzedowski, 1978; Breedlove, 1981; González Medrano, 2003 e INEGI 1997, 2000, 2003, 2005).

Los intentos de clasificación de la cobertura vegetal en México se remontan desde hace muchos años y han sido una gran cantidad de científicos e investigadores que se han dado a la tarea de crear una clasificación cercana a la realidad y sobre todo que englobe de manera eficaz todos los tipos de plantas que existen en el país, pero como ya se ha mencionado anteriormente, México posee una enorme riqueza en cuanto a biodiversidad, tiene unos de los más grandes inventarios forestales a nivel mundial, incluso hay muchas especies de plantas que aún no se conocen, de ahí la complejidad de agruparlos.

De acuerdo con Medrano (2004), uno de los trabajos más reconocidos ha sido el de Miranda y Hernández X, quienes publicaron en 1959 la *Clasificación de los Tipos de Vegetación de México, aplicable a los levantamientos forestales*. Este trabajo fue presentado en la segunda Convención Nacional Forestal. Posteriormente este trabajo, profusamente ilustrado fue publicado en 1963 en el Boletín de la Sociedad Botánica de México, en el que presentan una clave para determinar los tipos de vegetación (formaciones vegetales), distinguiendo 32 unidades y un apéndice para las formaciones con plantas muy esparcidas o para los lugares casi desprovistos de vegetación como: Dunas Costeras, Desiertos Áridos arenosos, Páramos por encima de vegetación arbórea y Glaciares, completa el trabajo una lista de los tipos de

vegetación más importantes de México y climas en que se encuentran (según la clasificación climática de Kopen).

El mismo autor reconoce que otra gran aportación que se realizó más tarde correspondiente a la clasificación de cobertura vegetal fue la de Rzedowski, quien en 1978 publicó “Vegetación de México”. Esta obra hasta la fecha, representa el trabajo más extenso e integrado del conocimiento que se tiene sobre la vegetación de México. Las grandes unidades de vegetación que distingue constituyen comunidades bióticas estables en función de los factores del medio físico donde viven.

De acuerdo con Medrano (2004), Rzedowski adoptó una actitud conservadora y procuró definir de tal manera los tipos de vegetación que se facilitara su cartografía y que las categorías distinguidas, tanto por su distribución, como por su nombre, pudieran compararse fácilmente con unidades de vegetación descritas de otras partes del mundo. Finalmente, completa su trabajo con un cuadro de equivalencias aproximadas entre los tipos de vegetación distinguidos por él y que definen otros autores.

De todos estos sistemas de clasificación el que se encuentra más desagregado y ofrece mayor detalle es el del INEGI (2002). A diferencia de los otros sistemas de clasificación el del INEGI (2002) es dinámico debido a que se modifica por el trabajo de validación de campo y en la medida que los usuarios proveen información sobre cómo puede mejorarse, lo cual lo ha convertido en el sistema de clasificación más utilizado en la actualidad. (Challenger 2008).

Clasificación de cobertura vegetal de acuerdo con el INEGI, año 2002.

Para fines de este proyecto de investigación se han revisado algunos de los datos que el INEGI tiene disponibles en cuanto a cobertura y usos de suelo. La evaluación más reciente de la superficie ocupada por las diferentes formas de uso del suelo en México es la *Carta de uso actual del suelo y vegetación Serie III* elaborada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y que describe el estado de la cubierta vegetal del país al año 2002.

INEGI (2002) reconoce y establece dos tipos de coberturas del territorio, la primera es la relacionada a los usos de suelo en el que se incluyen las actividades económicas de la población ya sea destinado a usos urbanos o agroecosistemas (para actividades económicas primarias), y el segundo es el relacionado a la cobertura de vegetación. A continuación se mencionan por separado las categorías que se establecen para cada uno de ellos.

Usos de suelo (urbanos y agroecosistemas).

Se incluyen los diferentes sistemas manejados por el hombre. Por su duración los cultivos se clasifican en:

- Anuales: aquellos cuyo ciclo vegetativo dura solamente un año.
- Semipermanentes: su ciclo vegetativo dura entre uno y diez años.
- Permanentes: la duración del cultivo es superior a diez años.

De acuerdo con el tiempo, duración de cultivo y disponibilidad de agua se clasifican de la siguiente manera:

- Agricultura de temporal anual (TA).
- Agricultura de temporal semipermanente (TAS).
- Agricultura de temporal permanente (TAP).
- Agricultura de riego anual (RA).
- Agricultura de riego semipermanente (RSP).
- Agricultura de riego permanente (RP).
- Agricultura de riego anual semipermanente (RAS).
- Agricultura de riego anual permanente (RP).
- Agricultura de humedad semipermanente (HS).
- Agricultura de humedad anual (HA).
- Agricultura de humedad anual permanente (HAP).
- Agricultura de humedad permanente (HP).
- Agricultura de humedad anual semipermanente (HSP).
- Bosque cultivado (BC).

- Pastizal cultivado (PC).
- Actividad pecuaria. (AP).
- Actividad forestal (AF)

Otras actividades relacionadas con el sector agropecuario:

- Apicultura.
- Avicultura.
- Floricultura.
- Cienegética.
- Procesadoras y empacadoras.
- Porcicultura.
- Acuicultura.
- Psisifactorías.
- Granjas acuícolas.

Información complementaria:

- Cuerpos de agua.
- Zonas urbanas.
- Áreas desprovistas de vegetación.
- Asentamientos humanos.

Cobertura vegetal

Las agrupaciones que se presentan en este concepto corresponden a diferentes tipos de ecosistemas así como a la diversidad de vegetación que existe de acuerdo a las características fisiográficas de las regiones existentes en el país y que se mencionan a continuación:

- Bosque de Oyamel (BA).
- Bosque de ayarín (BS).
- Bosque mesófilo de montaña (BM).
- Bosque de pino (BP).
- Bosque de encino (BQ).
- Bosque de pino – encino (BPQ).

- Bosque de encino – pino (BQP).
- Bosque de táscate (BJ).
- Matorral de coníferas (MJ).
- Bosque de cedro (BB).
- Selva alta perennifolia (SAP).
- Selva mediana perennifolia (SMP).
- Selva mediana subperennifolia (SMQ).
- Selva mediana subcaducifolia (SMS).
- Selva baja perennifolia (SBP).
- Selva baja subperennifolia (SBQ).
- Selva mediana caducifolia (SMC).
- Selva baja caducifolia (SBC).
- Matorral subtropical (MST).
- Matorral submontado (MSM).
- Matorral espinoso tamaulipeco (MET).
- Matorral carasicaule (MC).
- Matorral sarcocaula (MSC).
- Matorral sarco – carasicaule (MSCC).
- Matorral sarco – carasicaule de neblina (MSN).
- Matorral rostefófilo costero (MRC).
- Vegetación de desiertos arenosos (VD).
- Vegetación halófila (VH).
- Vegetación gipsófila (VY).
- Pastizal natural (PN).
- Pastizal halófilo (PH).
- Pastizal gipsófilo (PY).
- Pradera de alta montaña (VW).
- Popal (VA).
- Bosque de galería (BG).
- Manglar (VM).
- Tular (VT).

- Selva de galería (SG).
- Vegetación de galería (VG).
- Bosque inducido (BI).
- Pastizal inducido (PI).
- Palmar inducido (VPI).
- Vegetación sabanoide (VSI).
- Chaparral (ML).
- Palmar (VP).
- Sabana (VS).
- Mezquital (MK).
- Áreas sin vegetación aparente.
- Áreas desprovistas de vegetación.

Para la presente investigación se eligió la clasificación del INEGI (2002) debido a que actualmente es la más usada y la reconocida, asimismo se cuenta con las bases de datos y la información cartográfica necesaria de acuerdo a este sistema clasificatorio lo cual permitió realizar la cartografía de manera adecuada.

1.3. Cambios de usos de suelo.

1.3.1. Generalidades.

Desde los inicios de la historia de la humanidad, los grupos humanos han buscado la forma de aprovechar los recursos que la naturaleza proporciona para su subsistencia, desde la recolección de frutos y la caza. El hombre ha mostrado su capacidad de aprovechamiento, pero no fue hasta que descubrió la manera en que una semilla puede dar fruto que se empezó a usar al recurso suelo como fuente básica de producción agrícola.

Desde aquel entonces, cuando la producción agrícola empezó a tomar importancia, muchas de las civilizaciones observaron al suelo como una fuente de suma importancia, a la cual se le

debía agradecer y respetar como proveedor básico de alimentos y en sí como base esencial de su supervivencia.

De acuerdo con Orozco (2004) desde los comienzos de la Revolución Industrial el cambio en el uso y ocupación del suelo se ha acelerado de manera importante, la demanda de alimentos y actualmente la de biocombustibles, ha provocado que la superficie aumente considerablemente, donde una buena parte se ha realizado a expensas de zonas forestales. Este avance de la frontera agrícola ha traído como consecuencia la aparición de superficies de labor frágil y con alta susceptibilidad a los procesos erosivos con baja productividad Reid y otros (2004) están de acuerdo con Orozco en que en los últimos años ha existido una mayor transformación en los ecosistemas y suelos y afirman que los sistemas de cultivo y ganaderos ocupan alrededor de una cuarta parte de la superficie terrestre para resolver la demanda de alimentos, aguas, fibras y combustibles.

Esto indica que las transformaciones que iniciaron desde aquel entonces han aumentado significativamente durante los últimos años y se debe a varias cuestiones, la primera de ellas tiene que ver con el rápido aumento de la población, lo cual exige una mayor producción de recursos (bienes y servicios). Esto ha llevado a la humanidad a inventar nuevas formas de producción, en especial de alimentos, provocando una disminución de la productividad del suelo y otros problemas relacionados. Satisfacer las demandas de una población creciente trae consigo problemas derivados principalmente de los cambios de los usos en el suelo y la escasez de recursos naturales y tienen una reacción en cadena y cíclica, ya que un problema se vuelve factor para desencadenar otro y así sucesivamente, en este sentido se puede decir que uno de los procesos que se ha intensificado más es el calentamiento global del planeta.

Reid y otros (2004), sostienen que estos rápidos y profundos cambios de uso del suelo, así como sus consecuencias, son uno de los temas de mayor interés actual en las disciplinas ambientales. De hecho, ahora se reconoce que, aun cuando los cambios de uso de suelo ocurren a nivel local, pueden tener consecuencias globales. La pérdida de superficies boscosas es uno de los factores más importantes en el cambio climático global, toda vez que alteran

ciclos biogeoquímicos como el del agua y el carbono. Es también una de las causas más importantes de pérdida de biodiversidad.

A manera de conclusión, el uso de suelo está ligado a la forma en que se le da uso a los recursos naturales, este a su vez indica la forma e intensidad en que se modifica la cubierta vegetal y determina la persistencia de los ecosistemas, recursos y por ende, los servicios que se pueden brindar a la sociedad, es por esta razón que es fundamental entender los procesos de cambios de usos de suelo, así como los efectos que tiene este proceso en el entorno y en la humanidad.

1.3.2. Procesos de cambio de usos de suelo.

Para poder entender de una manera clara el fenómeno de cambio de usos de suelo, es importante explicar los procesos que intervienen en el mismo, a fin de tener un panorama más amplio del mismo. La SEMARNAT (2005) ha identificado cuatro procesos inmersos dentro de los cambios de usos de suelo, y se presentan de acuerdo a su importancia de la siguiente manera:

Deforestación.

La deforestación, que es el cambio de una cubierta dominada por árboles hacia una que carece de ellos. (SEMARNAT, 2005).

De acuerdo con la FAO (2000), el principal motivo de preocupación mundial en torno a la deforestación se refiere al calentamiento global y a la pérdida de los servicios ambientales que prestan los bosques y selvas ya que los bosques proporcionan funciones de gran importancia: evitan la erosión; favorecen la infiltración de agua al subsuelo alimentando los mantos freáticos y también purifican el agua y la atmósfera. Además, son fuente de bienes de consumo tales como madera, leña, alimentos y otros “productos forestales no maderables” (alimentos, fibras, medicinas), cuya importancia para la industria y para los campesinos es muy elevada en México.

Un segundo motivo de preocupación en torno a la deforestación es su impacto negativo sobre la diversidad biológica del planeta, ya que al retirarse la cubierta forestal no sólo se elimina directamente a varias especies, sino que las condiciones ambientales locales se modifican seriamente. Bajo esas nuevas condiciones muchos organismos son incapaces de sobrevivir ya sea porque sus límites de tolerancia son insuficientemente amplios, porque durante la deforestación se eliminan en las que interactúan con otras especies y pueden entonces ser desplazadas. (SEMARNAT, 2005).

Alteración de bosques y selvas.

La alteración implica una modificación inducida por el hombre en la vegetación natural, pero no un reemplazo total de la misma, como en el caso de la deforestación. Se trata de un proceso menos visible pero tal vez igualmente importante por sus efectos ambientales y económicos ya que implican el deterioro o alteración de los bosques y selvas. Aunque este proceso no tiene que ver con la remoción total de la cubierta arbolada (como sucede en la deforestación), sí puede llevar consigo cambios importantes tanto en la composición como en la densidad de las especies que ahí habitan lo que, a su vez, afecta la estructura y funcionamiento de estas comunidades naturales (SEMARNAT, 2005).

Challenger (1998) sostiene que la forma de alteración más semejante a la deforestación es la extracción selectiva de maderas y la extracción de árboles o ramas para obtener leña. A pesar de que la prohibición local de cortar leña en pie es común en México, la práctica subsiste debido a la necesidad del combustible. Una quinta parte de los habitantes del país utilizan leña para cocinar y, aunque no se tiene una estimación precisa sobre la cantidad total de leña consumida, la superficie de la que ésta se extrae debe ser muy grande. Además del daño directo provocado por la extracción de leña y maderas preciosas, durante el proceso de tala de un árbol como la caoba se dañan entre el 30 y el 50% de los individuos adyacentes provocando su muerte o haciéndolos más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades.

Por otro lado, aunque la ganadería extensiva es más frecuente en matorrales, también tiene lugar en los bosques y selvas, afectando grandes superficies. El ganado ejerce un impacto

directo a través del pisoteo y el consumo de plantas, estas alteraciones perturban a su vez al ciclo hidrológico, al suelo y a la vegetación en su conjunto, trayendo como consecuencia mayor susceptibilidad a la erosión, pérdida de biodiversidad y riesgo de incendios. La reducción de la cubierta vegetal provoca cambios en el microclima, que se vuelve más seco y caliente debido al incremento en la radiación solar hacia el interior del bosque y a una mayor facilidad para el paso del viento. Si a esto se suma que actividades como la obtención de leña que incrementa la cantidad de materia combustible en el suelo, las condiciones están dadas para los incendios forestales. (Page, 2002)

Degradación de matorrales.

Los matorrales, huizachales y mezquiales que caracterizan a las zonas áridas de México también han sido deteriorados por el hombre. Sin embargo, en muchos casos no se da la importancia debida a la degradación de estos tipos de vegetación ya que se les considera más un problema que un recurso. Es frecuente la concepción errónea de que los desiertos son un producto indeseable de las actividades humanas y a menudo se habla de “convertir el desierto en un vergel” a fin de remediar sus pobres condiciones. Por el contrario: los desiertos mexicanos son ecosistemas ricos en especies, muchas de ellas endémicas. (SEMARNAT, 2005)

La misma secretaría (SEMARNAT 2005), afirma que el ritmo con el que los matorrales desérticos son transformados a otros usos del suelo es aún más difícil de evaluar que la deforestación. Los inventarios nacionales sostienen que los matorrales constituyen el ecosistema que más lentamente está siendo transformado a otros usos y que se preserva. El cambio de uso de suelo en matorrales no ha recibido un nombre específico, aunque a veces se le incluye bajo el rubro de desertificación en el sentido de que se trata de “degradación ambiental en zonas áridas”.

Fragmentación.

La fragmentación es la transformación del paisaje dejando pequeños parches de vegetación original rodeados de superficie alterada de acuerdo con la SEMARNAT (2005), la cual en su informe sobre cambios de usos de suelo afirma que cuando se elimina la vegetación original de una zona, con frecuencia quedan pequeños manchones intactos inmersos en una matriz sumamente degradada. Las barrancas y las cúspides de cerros y montañas constituyen los únicos remanentes de vegetación que quedan en muchas regiones de México. Cada una de estas “islas” de vegetación generalmente alberga a un número menor de sus especies nativas que una superficie equivalente embebida dentro de una gran extensión de vegetación ininterrumpida.

1.3.3. Factores relacionados al cambio de usos de suelo.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el fenómeno del cambio de usos de suelo obedecen a una serie de procesos que actúan de manera directa con dicho recurso y tiene factores que son los que de alguna manera presionan a que se de este proceso de cambio de manera intensiva y alrededor del mundo. La SEMARNAT, (2005), identifica tres factores importantes: la población, el crecimiento de la frontera agropecuaria y el proceso de urbanización. A continuación se describirán de manera detallada dichos factores.

Población.

Evidentemente, la población es determinante en lo que a la magnitud del territorio utilizado por el hombre se refiere. Existe una correlación significativa entre la densidad poblacional y la superficie dedicada a actividades agropecuarias; los estados más poblados tienden a dedicar más superficie a la producción y esta relación es más intensa en la medida en que se tiene una mayor población rural dedicada a actividades primarias. (SEMARNAT, 2005).

Crecimiento de la frontera agropecuaria.

La FAO (2010), por su parte sostiene que la conversión de terrenos hacia usos agropecuarios es una de las causas más importantes de deforestación en América Latina y el mundo. Por otro

lado la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2000), menciona que la superficie agrícola sembrada en México se ha mantenido relativamente constante en los últimos 20 años.

Actualmente las diversas maneras de presionar al suelo para realizar actividades económicas e incrementar la producción de alimentos de una población creciente ha propiciado que los suelos se transformen y vayan perdiendo constante potencial productivo ocasionando una baja en las posibilidades de producción relacionada con los cultivos ya que los suelos pierden su fertilidad y no la recuperan, de la misma manera sucede con la vegetación natural que se pierde.

Urbanización.

Si bien es cierto que a escala nacional la superficie urbana es proporcionalmente muy pequeña (0.4% de territorio), se trata del uso del suelo que más rápido está creciendo en algunas regiones. Para el año 2002 la superficie urbana en el país era de poco más de 1.1 millones de hectáreas, 0.6% de la superficie nacional. Por lo común se trata de tierras planas, aptas para la agricultura, que dejan de ser productivas, mientras que el impacto directo de las ciudades es pequeño e indirectamente afectan los usos del suelo de grandes extensiones para satisfacer sus necesidades de alimentos, madera, recreación y disposición de residuos. (SEMARNAT, 2005)

1.3.4. Cambios a nivel global.

En este apartado se abordarán algunas cuestiones que tienen que ver con la problemática que incide en los cambios de usos de suelo a nivel global, para esto, la SEMARNAT, en su Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, en el año 2005, proporciona algunos datos estadísticos importantes en la situación tanto a nivel global como a nivel nacional.

En cuestiones de deforestación, de acuerdo con la evaluación más reciente de los recursos forestales del mundo de la FAO (2005) los bosques cubren unas 4 mil millones de hectáreas, alrededor de 30% de la superficie terrestre total del planeta. Según esa evaluación, la

deforestación, sobre todo para convertir los bosques en terrenos agrícolas ha proseguido a un ritmo de millones de hectáreas por año. Aunque el ritmo neto de pérdida ha disminuido con respecto a la década anterior (1990-2000), gracias a los programas de reforestación (como los promovidos extensivamente en China) y a la recuperación natural de los bosques a partir de terrenos de cultivo y de uso pecuario no utilizados; el cambio neto durante el periodo 1990-2000 habría sido de unas 8.9 millones de hectáreas por año y se estima que disminuiría a 7.3 millones de hectáreas anuales en el periodo 2000-2005. (SEMARNAT, 2005)

De acuerdo con la FAO (2005), en la evaluación global más reciente de los recursos forestales, sólo el 36% de los bosques remanentes en el mundo son primarios y se están perdiendo a una tasa de 6 millones de hectáreas anuales. Mayaux (2005) sostiene que en el sentido opuesto a la deforestación, la recuperación de las coberturas de bosque ha recibido menos atención como un fenómeno global y Foster y Aber (2005) aseguran que esta situación se debe en parte a que la recuperación no está ocurriendo a niveles comparables con los de la deforestación, de manera que pudiera amortiguar la pérdida de los bosques, pero también porque es un proceso que ocurre predominantemente en países desarrollados como Australia, Estados Unidos, Finlandia, etc. y en bosques templados sumamente menos diversos que los bosques tropicales.

Los cambios de usos de suelo a nivel global su vez son el resultado de diferentes procesos locales y regionales, que en suma van ocasionando problemáticas a gran escala y trayendo consigo consecuencias ambientales como escasez de recursos naturales, cambios en los sistemas climáticos y en los patrones de comportamiento de la población mundial, es por eso que es de suma importancia atender estos problemas desde el punto de vista local para tener resultados a nivel global.

1.3.5. Cambios a nivel nacional.

Para el caso de México, se presentan estos procesos de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal de una forma muy acelerada. En la actualidad existen estudios que demuestran que

estos cambios tienen un impacto negativo sobre la hidrología, el cambio climático y la biodiversidad, principalmente.

De acuerdo con la carta de uso actual del suelo y vegetación, Serie III, actualmente solo el 44% de la superficie del país está cubierto por vegetación primaria o con poca perturbación apreciable, haciendo que el caso de México comparado con estadísticas de otros países se vuelva preocupante. Por otra parte, la vegetación secundaria ha venido aumentando a ritmos superiores a las 170 mil hectáreas por año (1933 – 2002), siendo los bosques templados los que han sufrido una degradación mas intensa, superior a las 250 mil hectáreas anuales. (SEMARNAT, 2005).

SEMARNAT (2005), también reporta que entre el periodo de 1970 y 1993, bosques, selvas, matorrales y pastizales primarios que ocupaban unos 13.7 millones de hectáreas en diferentes partes del país fueron ya sea eliminados para dedicar los terrenos a otros usos o alterados y reemplazados por comunidades secundarias, a un ritmo promedio de unas 810 mil hectáreas por año. Estas transformaciones afectaron particularmente a los bosques templados y las selvas. Aunque más recientemente, el ritmo de alteración de la vegetación primaria ha disminuido. De 1993 a 2002 los bosques primarios los que sufrieron las mayores afectaciones siendo eliminados o alterados a un ritmo de 293 mil hectáreas por año; la extensión total de selvas primarias afectadas en ese periodo fue de 836 mil hectáreas, a un ritmo de casi 93 mil hectáreas por año

De acuerdo con Velázquez (2002), México es un claro ejemplo de los países que al mismo tiempo que albergan gran diversidad biológica experimentan un acelerado ritmo de deforestación o de conversión de su vegetación nativa a usos antrópicos. La CONANP (2005), en respuesta a esta situación y como parte de los compromisos internacionales del gobierno mexicano ante los problemas ambientales globales, durante la última década ha promovido la creación de Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sus logros de existencia y operatividad son evidentes, sin embargo el costo económico tan alto que implica su mantenimiento requiere de una evaluación integral (ambiental y social) de la viabilidad de este

modelo a largo plazo, como la estrategia más importante del país para la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas. (Mas, 2003)

1.3.6. Cambios a nivel estatal.

Para tener una idea más clara acerca de este proceso de cambio, es fundamental comprender los cambios que se han presentado en el Estado de México. De acuerdo a Castañeda (2000) la extensión total del Estado de México es de 2'253,085 ha, un 70% de esta superficie permanece estable y un 30% ha sufrido algún tipo de transformación. Las pérdidas representan cerca del 10%, un 4% aproximado es ocupado por bosques primarios que pasaron a ser secundarios con un valor aproximado de 3% de la superficie y equivalente a 2% que pasa a formar parte de los pastizales inducidos.

Castañeda (2000) menciona que con respecto a la vulnerabilidad que presentan las principales coberturas de ocupación y uso de suelo, existen categorías que tienden a perder más con un índice de 3.8, también las selvas primarias con 2.1 o el matorral secundario con 1.4. Por su parte, las coberturas que tienden a ganar más que a persistir son por ejemplo los bosques secundarios con un índice de 2.2, el matorral secundario con 1.1, la selva baja con 1.06 y sobre todo los asentamientos humanos con 3.1.

Por otro lado, la Universidad Nacional Autónoma de México en el año 2009 realizó un análisis que indica que en un periodo de nueve años (2000-2009), el Estado de México perdió 3,836 ha, de bosque de coníferas, 7,295 ha, de bosque de latifoliadas, 309 ha, de bosque mesófilo de montaña y 2,250 ha, de bosque mixto.

Los bosques del Estado de México están sufriendo procesos de deforestación, por lo que es trascendental realizar estudios a mayor detalle que ayuden a describir y explicar el grado de deterioro o recuperación relativa a la categoría forestal.

En todos los modelos presentados en este análisis se observa que las pérdidas se dan en áreas boscosas más próximas a las zonas agrícolas, lo que de alguna manera confirma el fenómeno

de la expansión agrícola. La variable fragilidad ecológica tiene una actuación muy similar en todos los modelos, lo anterior revela que la pérdida de bosque se presenta en áreas con alta fragilidad ecológica. (Jaimes, 2009; Sendra, 2009; Delgado, 2009 y Rocha, 2009)

El Estado de México ha sufrido un importante cambio en los usos y coberturas del suelo en las últimas tres décadas, especialmente los bosques primarios tuvieron una transformación importante dentro del territorio estatal, sufriendo un cambio total de cerca del 12% de su cobertura total que tenía en la década de los 70's. Por otra parte, los bosques secundarios tuvieron más ganancias que pérdidas lo que indica un proceso de alteración de los bosques primarios. Las selvas tienen en mismo patrón, es decir, la selva primaria tiende a perder y la selva secundaria tiende a ganar superficie, lo que confirma un proceso de alteración de estas coberturas vegetales. (Castañeda, 2000)

Los cambios de usos de suelo en el Estado de México han representado un patrón importante en el comportamiento de los recursos naturales y el capital natural del estado, es importante desarrollar estrategias que permitan el aprovechamiento sustentable del suelo para evitar que se siga deteriorando y aumentando los problemas ambientales, económicos y sociales que existen actualmente.

1.4 Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Un SIG se puede definir como aquel método o técnica de tratamiento de la información geográfica que permite combinar eficazmente información básica para obtener información derivada. Para ello, contaremos tanto con las fuentes de información como con un conjunto de herramientas informáticas (*hardware* y *software*) que facilitan esta tarea; todo ello enmarcado dentro de un proyecto que habrá sido definido por un conjunto de personas, y controlado, así mismo, por los técnicos responsables de su implantación y desarrollo. Un SIG es una herramienta capaz de combinar información gráfica (mapas) y alfanumérica (estadísticas) para obtener una información derivada sobre el espacio. (Gutiérrez y Goul 1994)

Existen diversas definiciones de Sistemas de Información Geográfica. Por ejemplo, ara Goodchild (1985) es un sistema que utiliza una base de datos espacial para generar respuestas ante preguntas de naturaleza geográfica. Sin embargo un año después, Burrough (1986) sostiene que un SIG es un potente conjunto de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar a voluntad, transformar y presentar datos espaciales procedentes del mundo real. Por su parte, Cebrián (1988) indica que el SIG es una base de datos computarizada que contiene información espacial.

Otras definiciones establecidas fueron las de Aronoff (1989) quien lo define como un conjunto de procedimientos manuales o computarizados usado para almacenar y tratar datos referenciados geográficamente, y el NCGIA (1990) que sostiene que es un sistema de hardware, software y procedimiento diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de datos referenciados espacialmente para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión.

Son muchas las definiciones que se les pueden dar a los Sistemas de Información Geográfica, algunas muy simples y otras un poco más complejas, pero para fones de esta investigación se considera fundamental tomar en cuenta la definición establecida en la Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes, IDRISI Andes, (2006) donde se estable que un Sistema de Información Geográfica es un sistema asistido por computadora para la adquisición, almacenamiento, análisis y visualización de datos geográficos. Hoy, se encuentra disponible una gran variedad de herramientas software para asistir estas tareas. Sin embargo, estas herramientas pueden variar significativamente unas de otras, en parte debido a la forma en que representan y trabajan con los datos geográficos, pero además debido al énfasis relativo que le dan a estas operaciones.

1.4.2 Clasificación de imágenes.

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, existen diferentes tipos de imágenes correspondientes a las diversas fuentes de las cuales provienen, para poder identificarlas y

aplicarlas a las distintas áreas de interés es fundamental adoptar diferentes técnicas y métodos de clasificación de imágenes.

La clasificación es el proceso de agrupar los píxeles en un número finito de clases individuales o de categorías de datos con base en sus niveles digitales. Si un píxel satisface un conjunto dado de criterios, entonces el píxel se asigna a la clase correspondiente a ese criterio (Manual de ERDAS, 1997).

Para Quiépo y Pintos (2001) el propósito fundamental de la clasificación, común a todas las disciplinas, consiste en hacer una partición de un conjunto de objetos en categorías. Estas categorías se construyen de manera tal que un objeto en un grupo dado es similar, en algún sentido, a cualquier otro del mismo grupo; y objetos en distintos grupos tienden a ser diferentes, para lo cual cada objeto es observado mediante un conjunto de variables cuantitativas que reflejan las cualidades fundamentales del mismo, luego, el proceso de clasificar, consiste en: dado un conjunto de n observaciones y sus características dadas por p variables, se requiere agruparlos basándose en las semejanzas que existan entre sí.

1.5 Fotografía aérea.

De acuerdo con el INEGI, la fotografía aérea es la representación fiel del terreno en el momento de la exposición, contiene información útil para las diversas áreas relacionadas con las ciencias de la Tierra, además es un elemento básico para generar modelos y productos para el conocimiento del territorio; constituye uno de los insumos fundamentales para iniciar el proceso de elaboración de cartografía topográfica, catastral, de riesgos, ordenamiento territorial y otros temas relacionados con la disposición de información básica para el análisis del entorno geográfico. (INEGI, 2013)

Las fotografías aéreas están destinadas a proporcionar, de una manera sencilla, información sobre la superficie topográfica. Esta información, recogida gracias al registro sobre una emulsión sensible (película), por medio de una cámara fotográfica que capta las radiaciones emitidas por dichos objetos, sirven tres de base para un examen que permite obtener ciertos

datos, especialmente los relativos a su disposición en el espacio, gracias a la observación estereoscópica. (Neira, 20005).

La fotografía aérea supone y requiere de un análisis consciente y exhaustivo de la superficie terrestre, del cual, justamente se hará a través de las cámaras fotográficas que se ubicarán a bordo de las naves específicas.

Son varios los ámbitos que emplean las fotografías aéreas para extraer información y conocer el terreno en el cual operan, la arqueología, la geología y también la agricultura suelen usar este tipo de fotografías para así recoger información sobre la naturaleza que presentan los cultivos. En la arqueología resulta ser una fuente de conocimiento indispensable ya que permite la prospección del suelo, es decir, se la emplea como un método para poder describir estructuras en el suelo sin necesidad de tener que excavarlo. (Definición ABC).

Hasta este apartado se han revisado los conceptos utilizados para la presente investigación, es importante tenerlos en cuenta por cualquier duda o aclaración al momento de la interpretación de los resultados. En el siguiente capítulo se realizará la investigación documental en la cual se hace mención a algunos casos de estudio similares éste.

CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA ACEERCA DE CASOS DE ESTUDIO CORRESPONDIENTES A CAMBIOS DE USOS DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL.

Este capítulo reporta algunas referencias correspondientes a casos de estudio similares al presente proyecto, en los que se han llevado a cabo análisis detallados de cambios de uso de suelo y vegetación a través del tiempo. Estos estudios han empleado diferentes metodologías las cuales han servido como referencia para desarrollar una metodología propia para los fines de esta investigación. A continuación se presentan los casos de estudio de cambios de usos de suelo.

2.1 Caso de estudio número 1.

“La dinámica del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación”.

Autores: Gerardo Bocco, Manuel Mendoza y Omar Macera.

Publicado en el *Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM*, año 2000.

El objetivo de este estudio fue contribuir a mejorar la comprensión de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo en el tiempo a nivel regional. Para ello se analizó el proceso de cambio de uso y cobertura del suelo a nivel regional que implicó tres pasos principales: a) detección e interpretación cartográfica y digital del cambio, b) análisis de los patrones de cambio de cobertura y uso del suelo y c) el análisis de la causalidad del cambio de uso.

a) En la detección e interpretación cartográfica digital, se mencionan los materiales empleados y los pasos para la interpretación de la cobertura del terreno a nivel municipal.

b) El análisis de los patrones de cambio de cobertura y uso del suelo se procedió a calcular las tasas de deforestación de bosques y selvas para el estado, y por municipio, mediante un el siguiente modelo exponencial:

(Ecuación 1)

$$N = (1 + r)N_0 \dots\dots\dots 1$$

Dónde:

N_0 = Superficie forestal en el tiempo 1

N = Superficie forestal en el tiempo 2

r = Tasa de deforestación anual

t = Diferencia del tiempo en años

De dicha ecuación se despeja “ r ” y se multiplica por 100 para obtener una tasa de deforestación en porcentaje.

(Ecuación 2)

$$R = 100 \left[1 - \left(\frac{N}{N_0} \right)^{\left(\frac{1}{t} \right)} \right] \quad 2$$

Construcción de las matrices de transición

La forma de capturar analíticamente la dinámica del mosaico completo de usos y coberturas del suelo es a través de las matrices de transición (FAO, 1996). En este estudio se construyeron dos matrices de transición con las superficies obtenidas de los mapas de cambio. A partir de las matrices de transición de uso de suelo se construyeron las matrices de probabilidad de transición para cada una de las clases de cobertura/uso seleccionadas. Su expresión matemática es:

(Ecuación 3)

$$P_{ij} = \frac{S_{ij} (1990's)}{S_{ji} (a970's)}$$

Dónde:

S_{ij} = Superficie del elemento “ ij ” de la matriz de transición de uso del suelo en los 90’s

S_j = Superficie de la clase de cobertura/uso del suelo “ ji ” en los setenta.

Estratificación municipal de cambio de uso del suelo

Los procesos de deforestación analizados presentaron una gran heterogeneidad geográfica dentro del estado. Con el fin de determinar las zonas más críticas de acuerdo con su grado de deforestación se realizó una zonificación de los municipios. Se construyó un índice de deforestación (ID_m) que toma en cuenta tanto la pérdida forestal en porcentaje en cada municipio ($CAM\%F$) como la pérdida forestal total por municipio ($CAMTF$).

(Ecuación 4)

$$ID_m = IDC\%F_m + IDCAM\%TF_m$$

Dónde:

$$ICAM\%F_m = CAM\%F_m / CAM\%F_{max}$$

$$IDCAM\%TF_m = CAM\%TF_m / CAM\%TF_{max}$$

c) Causas del cambio de uso del suelo

Para explorar las posibles causas de los procesos de cambio de uso del suelo se realizó un análisis de regresión múltiple entre los cambios de la cobertura por municipio y los cambios en variables socioeconómicas y demográficas seleccionadas a este nivel.

Se analizó a nivel municipal la correlación entre los cambios de cobertura forestal y las variables socio - económicas (INEGI, 1979; 1990) potencialmente útiles para el modelo explicativo. Se correlacionaron las variables cambio en superficie con bosques, cambio en superficie con selvas y cambio en superficie forestal total con las variables, cambio en población total urbana y rural, cambio en la población indígena, bilingüe y monolingüe, cambio en las viviendas totales y con uso de leña y cambio en la población económica y activa

(PEA) primaria. De estas variables se seleccionaron aquellas no correlacionadas entre sí y se construyó un modelo de regresión lineal múltiple. La ecuación utilizada fue la siguiente:

(Ecuación 5)

$$CAMF = \sum bi * CAMBSI + e$$

Dónde:

CAMBF = Cambio en la superficie forestal

CAMBSi = Cambio en cada una de las variables “i” variables socioeconómicas

e = Error

Los resultados de este estudio señalan que el 60% de la cobertura del estado de Michoacán, en los años setenta, correspondía a bosques templados y a selvas bajas caducifolias, mientras que en 1993 estas clases se redujeron en alrededor de 13% y 20%, respectivamente.

La tasa de deforestación estatal calculada en la ecuación 2, considerando un periodo de 18 años, indicó que los bosques pierden 1.8% de superficie anualmente, mientras que las selvas presentan tasas de deforestación de 1% anual.

2.2. Caso de estudio número 2.

“Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México”.

Autores: A. Velázquez, J. F. Mas, J. R. Díaz Gallegos, R. Mayorga Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, J. L. Palacio.

Publicado en *Gaceta Ecológica*, año 2002.

Este estudio pretende contribuir al desarrollo de mecanismos de seguimiento de la dinámica de los recursos naturales asociados a la cubierta vegetal. En este trabajo se consideraron dos bases de datos del INEGI (serie I y II) y el IFN 2000 para monitorear los cambios de los tipos de vegetación y uso del suelo en tres fechas que llamaron: t1 (serie I), t2 (serie II) y t3 (IFN

2000). La compatibilidad entre cada una de las bases de datos incluyó una revisión detallada de las categorías que las constituyen a través de los diccionarios que las describen. A partir de esto se logró encontrar una o un grupo de categorías que INEGI maneja en sus dos series. De esta forma se pudieron hacer compatibles las tres bases de datos en cuanto a su leyenda.

Con el fin de obtener las estadísticas del cambio, así como su localización geográfica, se realizó una sobreposición de las fuentes cartográficas corregidas digitalmente t1, t2 y t3. Esto permitió generar una cartografía confiable que expresa en forma concisa la magnitud y distribución espacial de la compleja dinámica del cambio de uso del suelo en toda la República Mexicana.

Los resultados más confiables correspondieron a las coberturas vegetales en tanto que las estadísticas menos confiables a los cuerpos de agua y asentamientos humanos. Entre 1976 y 1993 los bosques de latifoliadas disminuyeron, mientras que la tasa de cambio se disparó entre t2 – t3.

Se concluyó que a nivel regional es indispensable mejorar las fuentes de datos de referencia con intensivo trabajo de campo que considere aspectos florísticos-fisionómicos de la vegetación. Y que los principales aplicaciones potenciales son: la identificación de los principales focos de cambio y procesos asociados, a partir de esto se puede predecir la dirección del cambio; el análisis de la situación actual y potencial de los bienes y servicios ambientales en general se deriva de un buen inventario de sus recursos naturales, y que en diversos estudios regionales es necesario contar con este tipo de datos para identificar las áreas más favorables para fines de conservación y desarrollo regional.

2.3. Caso de estudio número 3.

“Cambios en el uso del suelo y deforestación en el sur de los estados de Campeche y Quintana Roo, México”.

Autores: Sergio Cortina Villar, Pedro Macario Mendoza y Yelena Ogneva Himmelberger.

Publicado en *Revista Investigaciones Geográficas (Mx)*, en el año 1999.

Mediante la interpretación de imágenes LANDSAT MSS se examinó qué proporción de la superficie de selvas y sabanas se transformaron en áreas agrícolas y ganaderas, entre 1975 y 1990, en viejos y nuevos ejidos. En los años 70, estos ejidos fueron objeto de un programa de colonización dirigido y financiado por el gobierno federal, proceso que incluyó el desmonte de las selvas para establecer áreas agrícolas y ganaderas modernas.

Los resultados indican que al término del periodo estudiado, un 25% de las selvas del área en estudio habían sido desmontadas y un 43% de la superficie desmontada había dejado de utilizarse en la producción agropecuaria y estaba cubierta por vegetación secundaria arbustiva o arbórea.

Las conclusiones indican que proporción de superficie de selvas y sabana transformada en áreas agrícolas y pecuarias en el sureste de Campeche y el sur de Quintana Roo, durante década y media de colonización ejidal, fue relativamente baja, sólo un 24%. Esto indica que aún existe una riqueza forestal potencial importante y que no hubo la amplia destrucción o desaparición de la selva; y que el apoyo gubernamental bien dirigido hacia las organizaciones de productores forestales podría ser de gran importancia para beneficiar a su población y mantener los recursos naturales de las selvas.

2.4. Caso de estudio número 4.

“Cambios en cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo”.

El análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS) en relación con las actividades humanas es esencial para entender y predecir la dinámica del paisaje. Se analizaron los CCUS en Solferino y San Ángel, dos comunidades rurales del noroeste de Quintana Roo, a partir de fotografías aéreas de 1979 y 2000, recorridos de campo y entrevistas para documentar la historia del uso del suelo.

El área seleccionada para este estudio fue un polígono de alrededor de 27 822 ha, de las cuales 15 545 (54%) corresponden a la comunidad de Solferino; 11 057 (44%) a San Ángel y 1200 (4%) a terrenos nacionales. El área dentro del polígono estudiado abarca las zonas donde se concentran las actividades productivas y donde se registraron los principales cambios de cobertura durante el periodo de estudio.

Los tipos de vegetación y cubierta de suelo fueron identificados a través de la interpretación de las fotografías aéreas (1979 y 2000). Las fotografías aéreas fueron digitalizadas y georreferenciadas mediante un sistema de información geográfica, de acuerdo con las cartas topográficas de INEGI. El material fotográfico fue interpretado con base en su tonalidad, textura y geometría. La tasa de cambio de cada categoría de cobertura se calculó utilizando la siguiente fórmula (FAO, 1996):

$$r = \left(\left(1 - \frac{(A1 - A2)}{A1} \right) \frac{1}{n} - 1 \right) * 100$$

Dónde:

r = Tasa porcentual de cambio anual.

$A1$ = Área de la categoría en cuestión al comienzo del periodo de estudio.

$A2$ = Área de dicha categoría al final del periodo.

n = Número de años del periodo.

Igualmente se elaboraron mapas de distancias para investigar la deforestación y regeneración de selvas en función de la distancia a los poblados.

Los resultados muestran un aumento en la cobertura de selvas, proveniente de la regeneración de áreas quemadas, lo cual resalta el papel de los incendios como agentes de cambio de cobertura y la capacidad de recuperación de las selvas. El cambio en el uso del suelo favoreció ligeramente la deforestación en Solferino, debido en parte a una mayor

disponibilidad de selvas para usos agropecuarios en las cercanías del poblado. En San Ángel se observó una mayor regeneración de selvas, debido en parte a una mayor deforestación previa, asociada a un gran aumento poblacional y a la implementación de programas federales de fomento a la ganadería.

Las conclusiones señalan que los CCUS futuros en la zona de estudio serán el resultado del balance entre diversos factores y tendencias institucionales, socioeconómicas, demográficas, ecológicas y climáticas. Esto resalta la importancia de desarrollar estudios interdisciplinarios que integren los diversos factores que inciden en los CCUS desde una escala local hasta global y que permitan una planificación adecuada para el desarrollo económico y social basado en un uso sostenible de los recursos naturales.

2.5. Caso de estudio número 5.

“Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990 – 2000)”.

Autores: Verónica Guerra Martínez y Susana Ochoa Gaona.

Publicado en *Revista Investigaciones Geográficas*, año 2006.

Se identificó la variación espacial de los tipos de vegetación y usos del suelo en la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco durante 1990 y 2000. Se generaron bases geográficas digitales referentes a geología, edafología, hidrología, temperaturas mínimas, temperaturas máximas, precipitación, vías de comunicación y localidades. La información fue almacenada en un sistema de información geográfica. Se clasificaron escenas del satélite Landsat MSS (1992) y Landsat ETM (2000). Se generaron mapas de vegetación y usos de suelo para 1990 y 2000 basados en puntos de verificación. Los mapas fueron sobrepuestos para obtener un mapa de cambios y una matriz de verificación. La tasa de cambio con base en la siguiente fórmula (Drizo y García, 1992):

$$r = 1 - \left(1 - \left(\frac{A1 - A2}{A1} \right) \right)^* \frac{1}{t}$$

Dónde:

A1= Área al inicio del periodo

A2= Área al final del periodo

t = Número de años en el periodo considerado

Los resultados muestran que las tasas de cambio por pérdida anual se estimaron en 6.1 % (selva de púcté) y 34.9% (selva de tinto). La tasa de incremento anual fue de 1.2% (manglar), 0.7 % (comunidades hidrófitas) y 27.8 % (pastizal). Los cambios se relacionaron con la presencia de carreteras pavimentadas, localidades y canales, siendo éstos últimos los que más afectaron. Y los cambios encontrados pueden atribuirse a diversas causas: incendios, apertura de vías de comunicación, actividades petroleras, sobreexplotación de recursos, expansión ganadera, tala para extracción de madera y quema intencional para capturar especies.

Las conclusiones a las que arriban indican que la variación por pérdida en los tipos de vegetación y uso del suelo en los Pantanos de Centla, a partir del Decreto Federal, no se ha detenido, únicamente el manglar ha mantenido la superficie ocupada, los cambios encontrados en los tipos de vegetación y uso del suelo en la Reserva han sido provocados por diversos factores, siendo la deforestación y los incendios forestales dos de las principales causas.

La importancia de éste capítulo reside en la incorporación de casos de estudio similares a éste proyecto de investigación, los cuales permitieron entender el comportamiento del fenómeno de estudio en otras áreas y cómo han afectado a las mismas, pero sobre todo cómo es que han reaccionado ante tal situación. Cada caso de estudio es diferente en cuanto a su metodología empleada, aunque todos tengan que ver con los cambios de usos del suelo, como es el caso de esta investigación, para la cual se elaboró una metodología con base a dos de las metodologías empleadas en casos mencionados anteriormente.

Éste trabajo maneja dos tipos de información, a saber: información cartográfica y estadística. En lo que corresponde al manejo de información cartográfica la metodología base fue la establecida en el caso de estudio 2: “Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México” en la cual se realizó una sobreposición de las fuentes cartográficas lo cual permitió generar una cartografía confiable que expresa en forma concisa la magnitud y distribución espacial de la dinámica del cambio de uso del suelo. Para el caso del manejo de información estadística se empleó la fórmula establecida por Drizo y García en 1992 en el caso de estudio 5 “Evaluación espacio-temporal de la vegetación y uso del suelo en la reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, Tabasco (1990 – 2000)” y que más adelante se hará mención de la misma.

CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO BIOFÍSICO.

3.1 Localización geográfica.

De acuerdo con los datos analizados en la cartografía y con la ayuda del programa ArcGis, se tiene que la cuenca del río Tenancingo se encuentra ubicada en la parte sur del Estado de México en los 18°59 '20" latitud Norte y 99°38'46.189" longitud Este. Abarca siete municipios, a saber: Tenango del Valle, Tenancingo y Zumpahuacán, Villa Guerrero, Joquicingo y una mínima parte de Toluca y Malinalco. El total del área de la cuenca es de aproximadamente 34,930 hectáreas. En el cuadro 1, se muestran los datos de cada municipio (su extensión medida en m² y en hectáreas, con su respectivo porcentaje), con la finalidad de proporcionar una idea más clara de la distribución territorial de la cuenca.

Como se puede observar tanto en la figura 1 como en el cuadro 1, que el municipio con mayor superficie dentro de la cuenca es Tenancingo, seguido de Tenango del Valle y Zumpahuacán, posteriormente Villa Guerrero y Joquicingo, y por último con menor incidencia se encuentran Toluca y Malinalco.

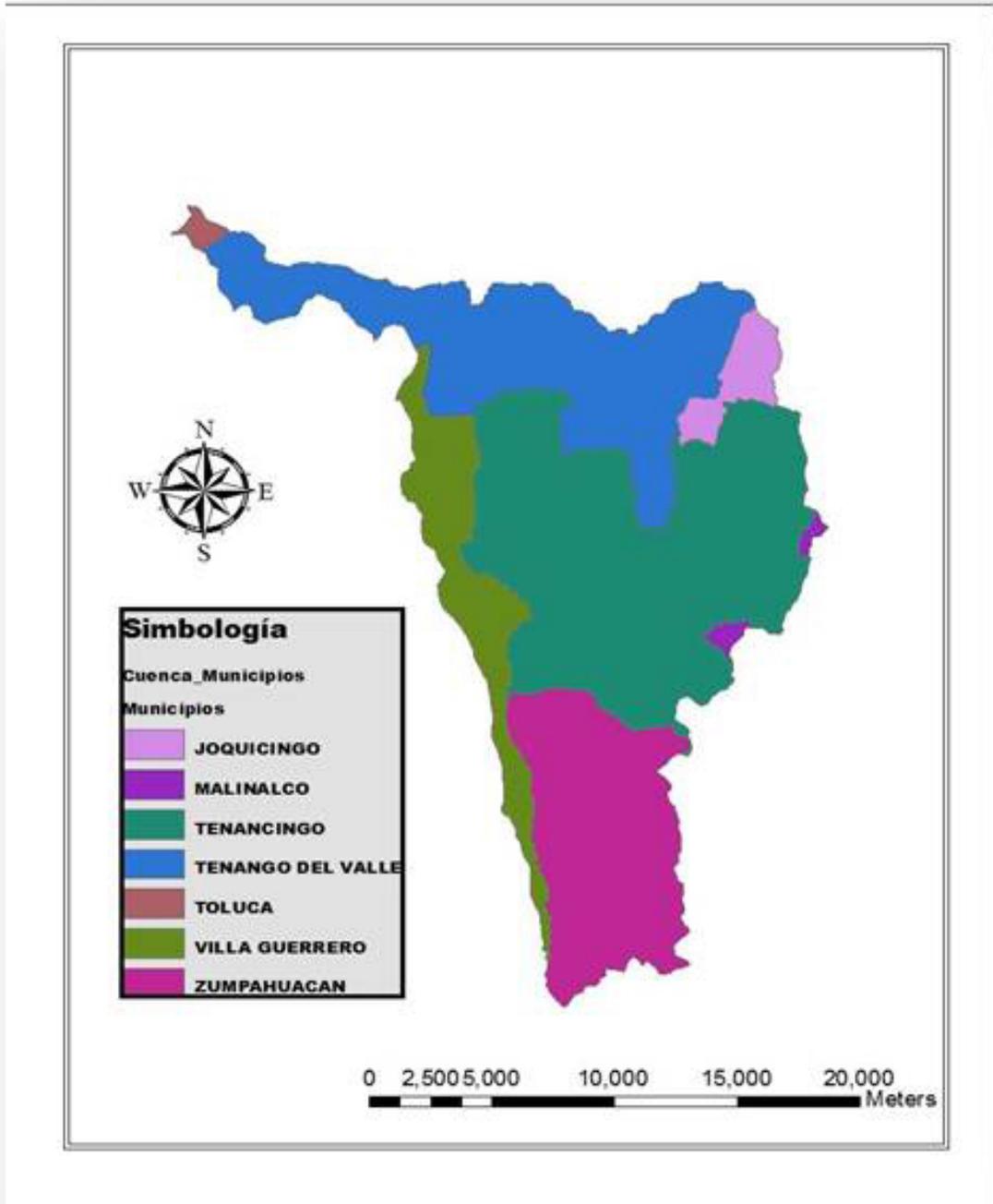


Figura 1. Municipios de la cuenca del río Tenancingo.

Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI

Cuadro 1. Distribución municipal.

Municipios	Área (m²)	Área (ha)	Porcentaje
Toluca	1,959,884.97	195.98	0.6
Tenango del Valle	89,551,769.65	8955.18	26
Villa Guerrero	34,936,098.39	3493.60	10
Joquicingo	10,553,086.03	1055.30	3
Tenancingo	141,763,442.48	14176.34	40
Malinalco	1,530,836.49	153.08	0.4
Zumpahuacán	68,323,281.62	6832.32	20
TOTAL	348,618,399.64	34861.84	100

Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI.

La importancia de conocer la distribución de los municipios en la cuenca radica principalmente en entender los procesos de los cambios de usos de suelo, cada municipio de acuerdo a su topografía tiene diferentes características y en lo que se refiere a la cuestión sociodemográfica también varía la población asentada y las actividades económicas que realizan. Por ejemplo, en los tres principales municipios predomina el sector primario, esto es la agricultura tanto de temporal como de riego, y es por eso que dentro de la cuenca los procesos de pérdida de vegetación se han visto incrementados en las últimas décadas.

3.2. Cobertura vegetal y usos de suelo.

La clasificación de los usos de suelo y vegetación, para los tres periodos de tiempo, que se empleó en este estudio fue la del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, la cual fue reportada en el Marco Teórico Conceptual. Los usos de suelo y vegetación identificados en la cuenca del río Tenancingo se reportan en el Cuadro 2.

A continuación se presenta la distribución espacial de los usos del suelo y vegetación, que se identificaron en la cuenca del río Tenancingo. Los resultados obtenidos para algunas de las

categorías muestran casi la misma superficie en los tres periodos de tiempo (1984, 2000 y 2008) y se muestran más adelante.

Cuadro 2. Usos del suelo y vegetación y claves en la cuenca del río Tenancingo.

No.	Concepto	Clave
1	Asentamientos humanos	AH
2	Agricultura de riego-riego eventual.	AR-RE
3	Áreas sin vegetación aparente	ASVA
4	Agricultura de temporal	AT
5	Bosque de encino (incluye bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea).	BE
6	Bosque mesófilo de montaña (incluye bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva y herbácea).	BMM
7	Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva y herbácea.	BMMVSAH
8	Bosque de oyamel (incluye ayarin y cedro)	BOAC
9	Bosque de pino (incluye vegetación secundaria arbustiva y herbácea)	BP
10	Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)	BPE-EP
11	Bosque de pino-encino (incluye encino-pino) con vegetación secundaria (arbustiva y herbácea)	BPEVS
12	Bosque de táscate	BT
13	Bosque de táscate con vegetación secundaria arbustiva y herbácea	BTVSAH
14	Cárcavas	C
15	Pradera de alta montaña	PAM
16	Pastizal inducido	PI
17	Selva baja caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea.	SBCSVSAH:

Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI.

A continuación se hace mención de la distribución espacial de cada una de las categorías de usos de suelo y cobertura vegetal establecidas de acuerdo con el análisis e interpretación cartográfica y con ayuda de Arc Gis.

Asentamientos Humanos.

La distribución de los Asentamientos humanos dentro de la cuenca es variada, es decir, se encuentra en diferentes puntos a lo largo de la zona, pero cabe mencionar que la mayor concentración de asentamientos se encuentra en el centro de la misma correspondiente al municipio de Tenancingo.

Agricultura de riego-riego eventual

En lo que corresponde a la Agricultura de riego – riego eventual, la distribución de la misma se presenta desde la parte centro de la cuenca y se desplaza del centro hacia el este, y desde el este-centro hacia el sur, lo que correspondería a los municipios de Tenango, Villa Guerrero y en los últimos años ha ido avanzando hacia Zumpahuacán, al sur de la cuenca.

Los cultivos que más se producen en invernadero son: Rosa, Clavel, Crisantemos, Lilies, Tulipan, Limonium, Gipsophilia, Gerbera, Alstroemeria, etc. Las especies cultivadas a cielo abierto son: Gladiola, Ave de Paraíso, Agapando, Alcatraz, Hypericum, Nardo, Alhelí, Cempazuchil, Nube, Celosia y Girasol.

Área sin vegetación aparente

El área sin vegetación aparente que no entra en la categoría ni de agricultura, ni pastizal, ni urbano en realidad es mínima, y se ubica al noreste de la cuenca, en lo que corresponde al municipio de Toluca, cabe mencionar que la parte de Toluca que entra en la cuenca es menos de 1 %.

Agricultura de temporal

Uno de los usos de suelo predominantes en la cuenca es la Agricultura de temporal y se localiza distribuida en toda la cuenca y en grandes extensiones territoriales, excluye solo la

parte noreste que corresponde al municipio de Toluca, pero en realidad abarca Tenango del Valle, Tenancingo, Zumpahuacán, Villa Guerrero, Joquicingo y Malinalco.

Bosque de encino

Los bosques de encino se están concentrados en ciertas áreas de la zona, la mayor concentración de bosques se encuentra en el centro-este, que corresponde al municipio de Villa Guerrero y otra pequeña parte se encuentra en la parte centro-sur, que pertenece al municipio de Zumpahuacán, en los límites con Tenancingo.

Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

Los bosques de encino que cuentan con vegetación secundaria, es decir hierbas y arbustos se sitúan concentrados en el centro y en el sur de la cuenca, que abarca los municipios de Tenancingo y Zumpahuacán.

Bosque mesófilo de montaña

Los bosques mesófilos de montaña corresponden a unas de las categorías con menor extensión dentro de la cuenca, y se ubican en la zona centro-oeste, que pertenece al municipio de Tenancingo.

Bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

Sin embargo, el bosque mesófilo de montaña que presenta vegetación secundaria, es decir con hierbas y arbustos aumenta en proporción con relación al que no tiene vegetación secundaria, pero de igual forma se sigue concentrando en la zona centro-oeste de la cuenca, desplazándose ligeramente hacia el norte y sigue perteneciendo al municipio de Tenancingo.

Bosque de oyamel (incluye ayarin y cedro)

Los bosques de oyamel, que incluyen las especies de cedro y ayarin también representan una de las categorías con menor extensión dentro de la cuenca, y se concentra en la parte noreste de la misma, que pertenece al municipio de Tenango del Valle.

Bosque de pino

Los bosques de pino, por otro lado, son característicos de las zonas más altas y más frías, en este caso, igual que los bosques de oyamel, representan áreas bastante pequeñas y están localizados al noreste de la cuenca, y se encuentran dentro del municipio de Tenango del Valle y su colindancia con Toluca.

Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)

Por su parte, los bosques de pino que ya incluyen la especie del encino son más abundantes dentro de la zona, y representa una de las categorías con mayor extensión dentro de la región, se concentra en su mayoría en la parte norte de la cuenca, abarcando los municipios de Tenancingo, y cubre la zona noreste, y gran parte del municipio de Tenango del Valle, de igual manera existe una buena concentración en la zona suroeste de Tenancingo y parte de Malinalco.

Bosque de pino-encino (incluye encino-pino) con vegetación secundaria

Los bosques de pino-encino con vegetación secundaria también son abundantes, aunque no tanto como el bosque de pino-encino, en su mayoría se sitúan en la zona norte de la región, cubriendo los municipios de Tenango del Valle, zona norte de Zumpahuacán y Tenancingo.

Bosque de pino-encino (incluye encino-pino) con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

Los bosques de pino-encino con vegetación secundaria correspondiente a hierbas y arbustos también pertenecen a las categorías con menos extensión en la cuenca, y se encuentran en la parte noreste de la zona, abarcando la parte sureste del municipio de Tenango del Valle.

Bosque de pino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

De igual manera que el bosque de pino-encino con vegetación arbustiva y herbácea, la extensión de este tipo de bosques es muy pequeña, y se localiza en la parte noreste de la zona, perteneciente al sureste de Tenango del Valle.

Bosque de táscate

Los bosques de Táscate son característicos de climas más templados y semihúmedos, en este caso, están ubicados al sur de la cuenca, abarcando algunas partes del municipio de Zumpahuacán.

Bosque de táscate con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

Los bosques de táscate que presentan vegetación arbustiva y herbácea de igual forma que el de puro táscate se sitúan al sur de la cuenca, justo en el límite sur de la delimitación de la misma, perteneciente al municipio de Zumpahuacán.

Cárcavas

Es difícil definir con exactitud los lugares precisos donde se localizan las cárcavas, ya que éstas son resultado de procesos de erosión, ya sea de manera natural o inducida, se pueden presentar en pendientes donde se practiquen actividades primarias o en zonas donde haya muchos afluentes, en este caso, las cárcavas se encuentran distribuidas como pequeños puntos en toda la región, lo que es importante mencionar en este punto es que del año 1984 al 2010 el número de cárcavas ha ido aumentando y en su mayoría se distribuyen a lo largo del municipio de Tenancingo.

Pradera de alta montaña

Lo que corresponde a las praderas de alta montaña, como su nombre lo dice, se presentan en zonas muy altas y montañosas, en este caso, dentro de la cuenca la única región que tiene estas características es la zona noreste, perteneciente al municipio de Toluca.

Pastizal inducido

Los pastizales inducidos son resultado también de la actividad antrópica y dentro de la cuenca también es uno de los usos de suelo predominantes, en este caso se encuentran distribuidos en pequeñas áreas a lo largo de la zona, pero su mayor concentración está en la parte sur de la región, la cual pertenece al municipio de Zumpahuacán.

Selva baja caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

La selva baja caducifolia y subcaducifolia, en este caso estas selvas cuentan con vegetación secundaria con arbustos y hierbas, y aunque su uso de suelo no es de los predominantes, se localiza en gran extensión y abarca casi toda la zona sureste de la cuenca, abarcando toda la parte sur del municipio de Villa Guerrero y una parte considerable de Zumpahuacán.

Identificar en que forma y hacia dónde se distribuyen los usos de suelo es importante cuando se trata de realizar un análisis territorial, de esta manera se pueden observar las tendencias de los usos de suelo y cobertura de vegetación, si aumentan o disminuyen, cómo y hacia dónde y sobre todo facilita la identificación de las variables que intervienen en estos cambios territoriales.

A continuación se muestran los usos de suelo y coberturas de vegetación para los tres periodos de tiempo de manera gráfica, así como las tablas de su distribución en área y las gráficas de porcentajes.

3.2.1 Cobertura y usos de suelo en 1984.

En la figura 2 se presenta el mapa de cobertura y uso de suelo, el cual fue obtenido a partir de la interpretación de ortofotomapas del año de 1984. Además se reportan en el cuadro 2, datos por categoría, superficie y porcentaje del total del territorio. Y posteriormente se graficaron los porcentajes de las categorías obtenidas (figura 3).

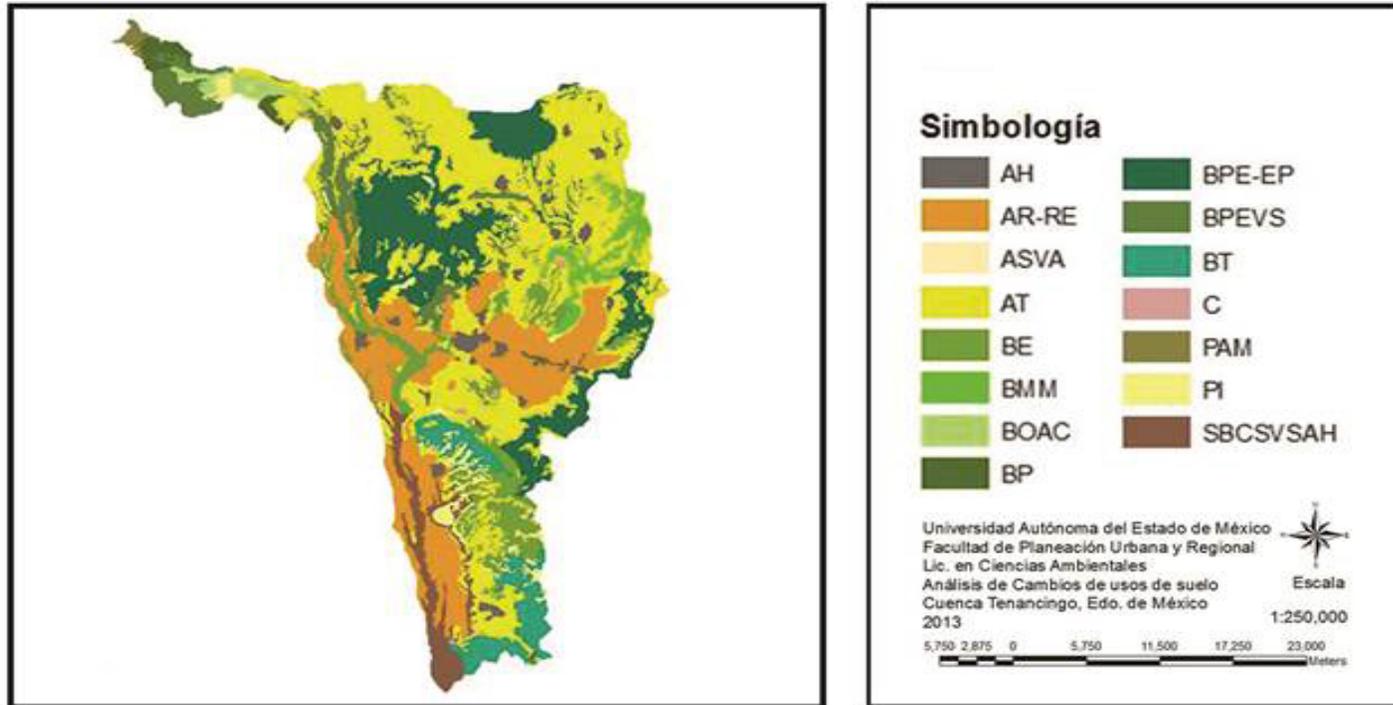


Figura 2. Cobertura y usos de suelo en 1984.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI.

Cuadro 3. Superficie y porcentaje de categorías, 1984.

Clave	Área (ha)	Porcentaje
AH	802.5	2.3
AR-RE	5152.2	14.8
ASVA	8.7	0
AT	13606.2	39
BE	2569.6	7.4
BMM	847.9	2.4
BOAC	394	1.1
BP	356.7	1
BPE-EP	5181.2	14.8
BPEVS	1958.3	5.6
BT	1564.2	4.5
C	85.6	0.2
PAM	154.7	0.4
PI	937.7	2.7
SBCVSA	1310.4	3.8
Total	34929.9	100

Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI.

La figura 3, muestra los porcentajes de la distribución superficial de cada una de las categorías dentro de la cuenca del río Tenancingo.

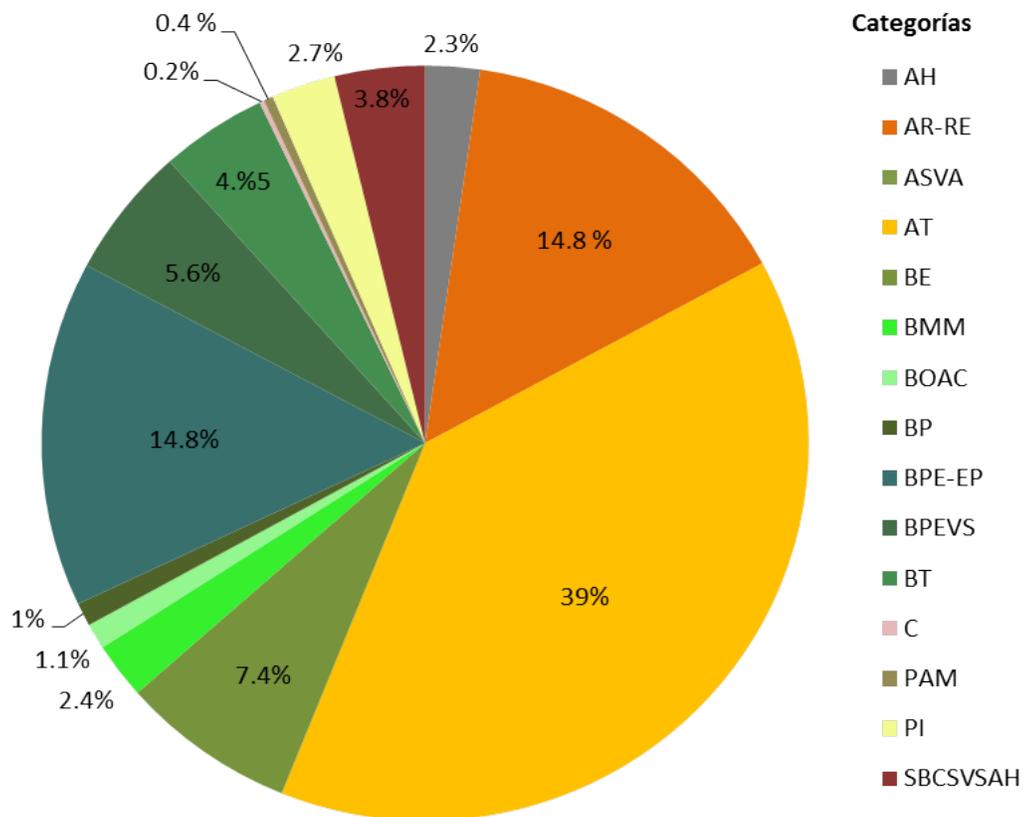


Figura 3. Porcentaje de distribución, 1984.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI.

3.2.2 Cobertura y usos de suelo en 2000.

En la figura 4 se presenta el mapa de cobertura y uso de suelo, confeccionado a partir de la interpretación de ortofotomapas digitales de 2000. Igualmente en el cuadro 3, se presentan datos de categoría, superficie y porcentaje del total de la cuenca. Y en la figura 5 se grafican los porcentajes de las coberturas y usos de suelo.

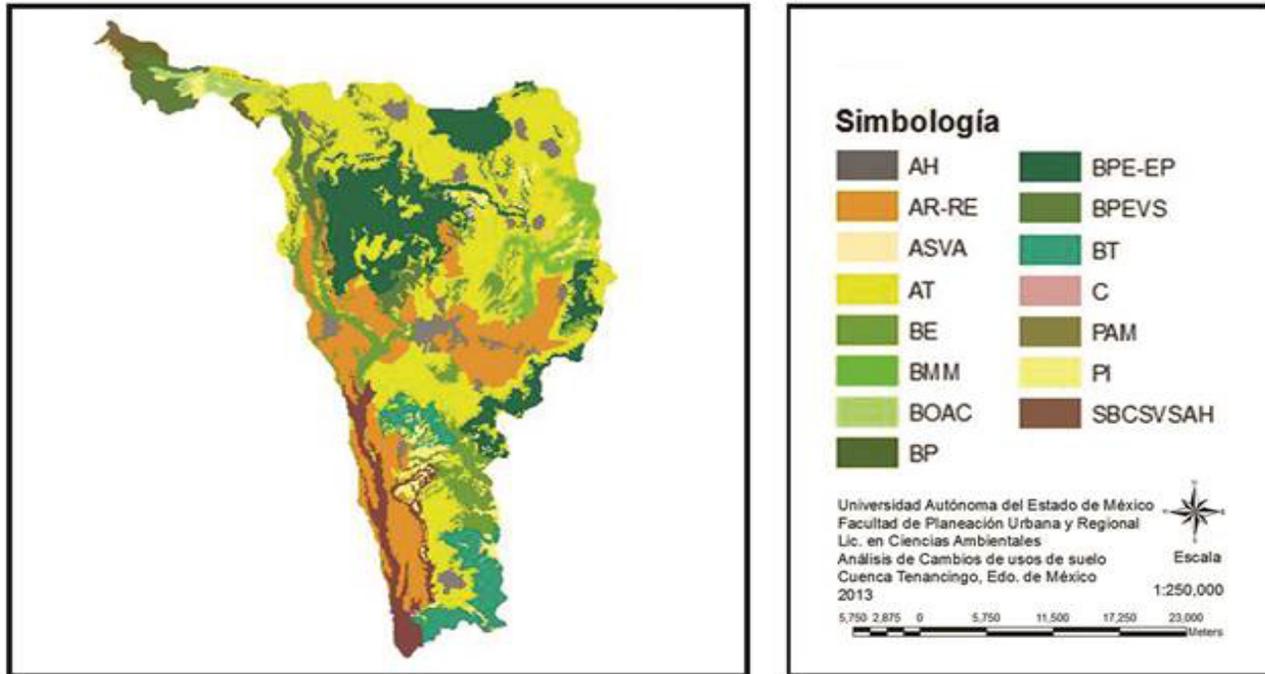


Figura 4. Cobertura y usos de suelo en el 2000.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI.

Cuadro 4. Superficie y porcentaje de categorías, 2000.

Clave	Área (ha)	Porcentaje
AH	1345.5	3.9
AR-RE	5520.5	15.8
ASVA	8.7	0.19
AT	12505.8	35.8
BE	2456.9	7
BMM	845.6	2.4
BOAC	394	1.1
BP	356.7	1
BPE-EP	5384.6	15.4
BPEVS	1959.3	5.6
BT	1575.9	4.5
C	43	0.01
PAM	154.7	0.4
PI	1068.5	3.1
SBCVSA	1310.4	3.8
TOTAL	34930.1	100

Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI.

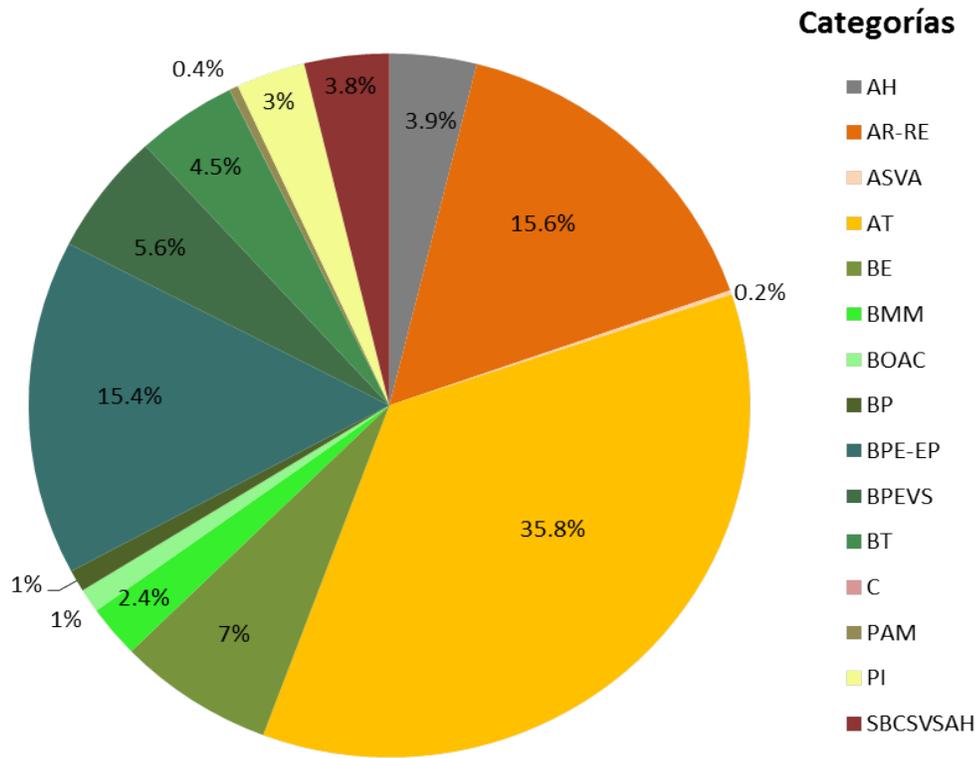


Figura 5. Porcentaje de distribución, 1984.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI.

3.2.3 Cobertura y usos de suelo en 2008.

El mapa de cobertura y uso de suelo se presenta en la figura 6, el cual fue elaborado por medio de imágenes del satélite SPOT del 2008. Asimismo en el cuadro 4, se reportan los datos por categoría, superficie y porcentaje del total de la zona de estudio. Y en la figura 7 se graficaron datos correspondientes a los porcentajes de las coberturas y usos de suelo.

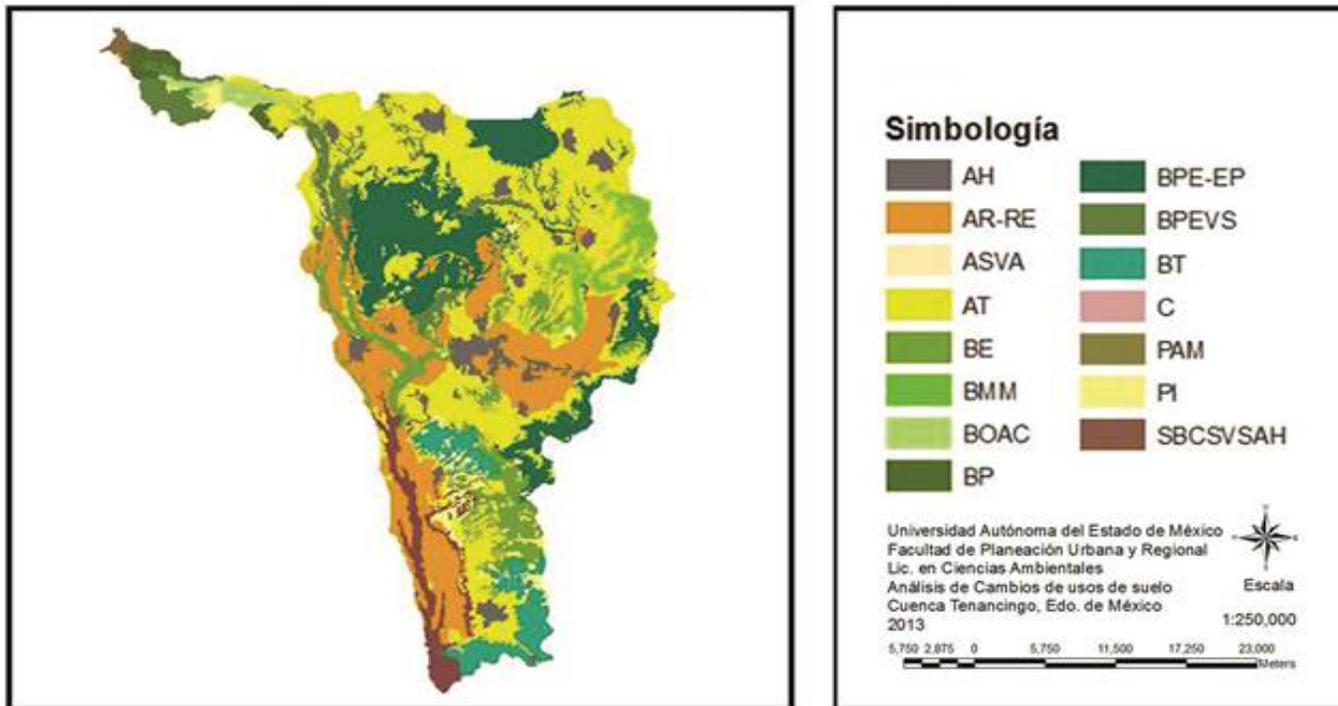


Figura 6. Cobertura y usos de suelo en el 2008.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI.

Cuadro 5. Superficie y porcentaje de categorías, 2008.

CLAVE	Área (ha)	Porcentaje
AH	1613.6	4.6
AR-RE	5694.9	16
ASVA	8.7	0.02
AT	12135.8	35
BE	2408.4	7
BMM	836.2	2.4
BOAC	394	1.1
BP	356.7	1
BPE-EP	5393.9	15.4
BPEVS	2012.8	5.7
BT	1581.9	4.5
C	43	0.1
PAM	154.7	0.4
PI	1035.8	3
SBCVSA	1259.2	3.8
TOTAL	34929.7	100

Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI.

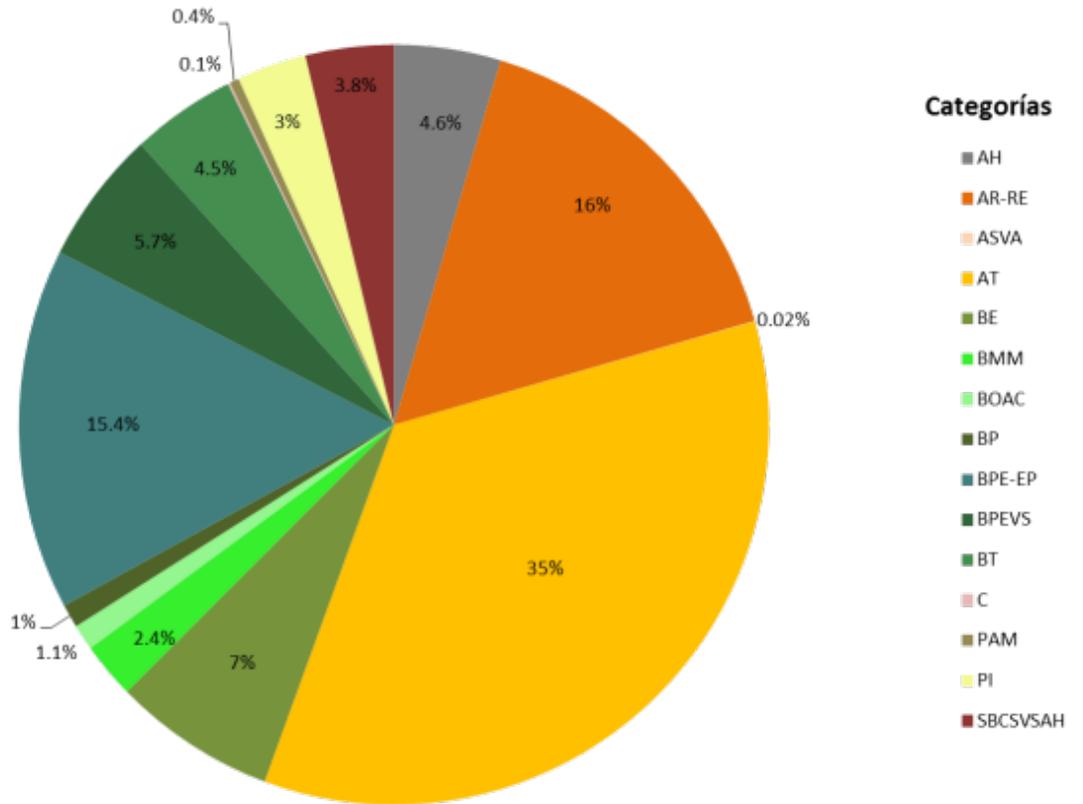


Figura 7. Porcentaje de distribución, 2008.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI.

En este apartado se estudió la situación territorial de la cuenca en cuestiones de usos de suelo y cobertura vegetal, en el capítulo siguiente se analizarán los datos estadísticos y cartográficos para la obtención de resultados en los periodos de tiempo en cuanto a la dinámica de cada una categoría.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se reportan los resultados del presente trabajo de investigación, para tal efecto se realizan tres análisis que se mencionan a continuación:

- 1) Análisis cartográfico y estadístico en el cual se puede apreciar el comportamiento de cada categoría en el período de tiempo establecido (18984 – 2008) determinando su tasa de aumento o decremento para los tres años.
- 2) Análisis cartográfico para determinar las áreas ganadoras y perdedoras en el cual se realizó una sobreposición de mapas para cada uno de los años y así observar las categorías que han aumentado a costa de la disminución de otras.
- 3) Análisis estadístico en el cual se establecieron dos grupos: usos de suelo referentes a las actividades humanas y cobertura vegetal, para observar cuál de los dos es el predominante dentro de la cuenca y su comportamiento para el período establecido.

4.1. Dinámica de la cobertura vegetal y usos de suelo de 1984-2008.

En este apartado se hace un análisis de la cobertura vegetal y usos del suelo en 1984, 2000 y 2008, para conocer si existe una tendencia de aumento o disminución de las mismas en el periodo de estudio. En el cuadro 6 se presenta la superficie por cada una de las categorías.

A continuación se muestran figuras por categoría, en las cuales se puede apreciar el comportamiento de cada cobertura y uso de suelo, el eje horizontal representa los años y el vertical representa las hectáreas, para el cálculo de las tasas de crecimiento se utilizó la siguiente fórmula.

$$r = 1 - \left(1 - \left(\frac{A1-A2}{A2} \right) \frac{1}{t} \right) \times 100 \dots \dots \text{Ecuación 1 (Drizo y García, 1992)}$$

Dónde:

A1= Área al inicio del periodo

A2= Área al final del periodo

t = Número de años en el periodo considerado

Cuadro 6. Superficie de categorías para los tres años.

Clave/Año	1984	2000	2008
AH	802.5	1345.5	1613.6
AR-RE	5152.2	5520.5	5694.9
ASVA	8.7	8.7	8.7
AT	13606.2	12505.8	12135.8
BE	2569.6	2456.9	2408.4
BMM	847.9	845.6	836.2
BOAC	394	394	394
BP	356.7	356.7	356.7
BPE-EP	5181.2	5384.6	5393.9
BPEVS	1958.3	1959.3	2012.8
BT	1564.2	1575.9	1581.9
C	85.6	43	43
PAM	154.7	154.7	154.7
PI	937.7	1068.5	1035.8
SBCVSA	1310.4	1310.4	1259.2

Fuente: Elaboración propia con base a datos del INEGI.

Asentamientos Humanos (AH).

La primera categoría que se analizó fue la de Asentamientos Humanos y los resultados se presentan en la Figura 8. Como se puede observar en dicha figura, la tendencia de los Asentamientos Humanos ha ido en aumento durante los tres periodos de tiempo, pasando de 800 hectáreas aproximadamente hasta alrededor de 1,600 hectáreas, lo que nos indica que de 1984 al año 2008 ha aumentado la mitad de su extensión lo que equivale a 800 hectáreas y su evolución se puede apreciar en la siguiente imagen:

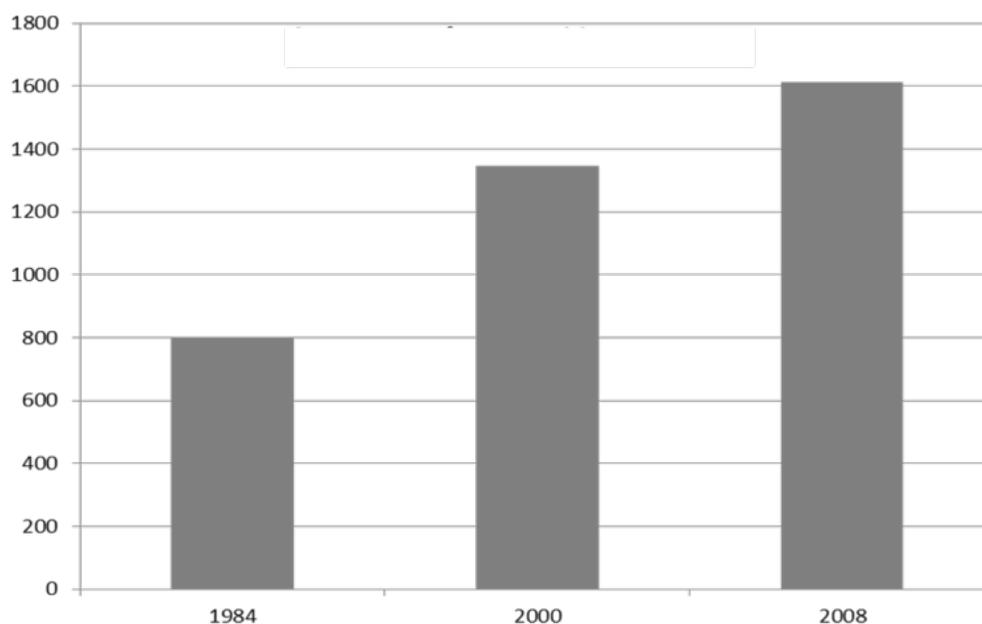


Figura 8. Comportamiento de los AH.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de cálculo de tasa de crecimiento se tiene que:

De 1984 al 2000: aumentó 40.3 %, lo que equivale a 543 hectáreas.

De 2000 al 2008: aumentó 16.6 %, lo que equivale a 268 hectáreas.

Agricultura de Riego-Riego Eventual (AR-RE)

Para la Agricultura de Riego-Riego Eventual se tiene el comportamiento expresado en la figura 9, y de la misma manera que los Asentamientos Humanos, la Agricultura de Riego-Riego Eventual ha mostrado tendencia en aumento, esto se debe principalmente a que la agricultura es una de las principales actividades económicas de la región y ésta se ve reflejada en los usos del suelo de la cuenca, ya que es una de las categorías que abarca mayor extensión, del año de 1984 al 2008 ha aumentado 542.7 hectáreas y ese comportamiento se encuentra gráficamente expresado en la siguiente figura:

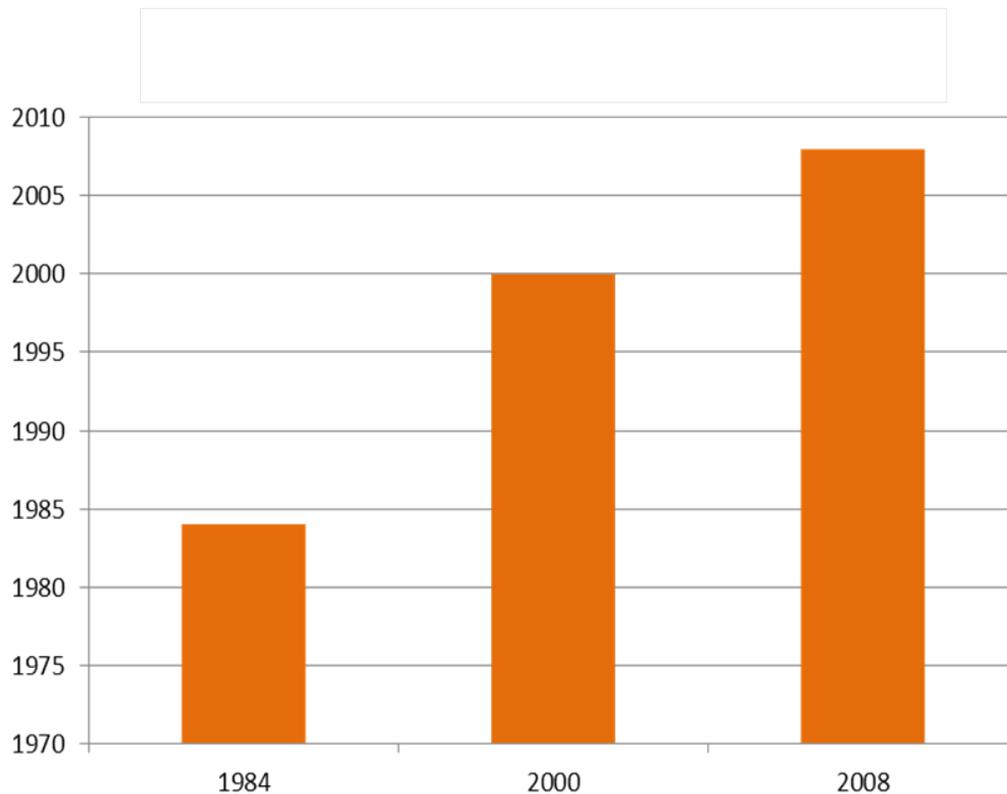


Figura 9. Comportamiento de AR-RE.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de la tasa de crecimiento se tiene que:

De 1984 a 2000: ha aumentado 6.6% lo que equivale a 368.3 hectáreas.

De 2000 a 2008: ha aumentado 3% lo que equivale a 174.4 hectáreas.

Áreas sin Vegetación Aparente (ASVA)

Para el caso de Área sin Vegetación Aparente, las estadísticas de ambos años arrojan los mismos datos en los tres períodos de tiempo, esto es 8.7 hectáreas, por lo que no fue indispensable realizar ningún cálculo y se omitió la creación de la figura, no sólo para esta categoría, sino para las otras categorías que se mantienen constantes las cifras.

Agricultura de Temporal (AT)

La agricultura de temporal es el uso de suelo que cubre la mayor extensión dentro de la cuenca del río Tenancingo, en la figura 10 se muestran las cifras obtenidas para la AT. Este uso de suelo presenta un comportamiento diferente a los anteriores. Se observa que hay una disminución en cuanto a la superficie, esto se debe principalmente a que las actividades relacionadas con la agricultura se han ido transformando de temporal a riego. En la cuenca se ha presentado, desde hace varias décadas, una reconversión productiva de aguacate y durazno por la floricultura. Esta actividad es económicamente más rentable para la población, ya sea el trabajar sus tierras dentro de la floricultura o rentarla a empresas dedicadas a la producción florícola y cada vez es más notoria la implementación de invernaderos. La agricultura de temporal disminuyó del año 1984 al 2008 1470.4 hectáreas como se muestra a continuación:

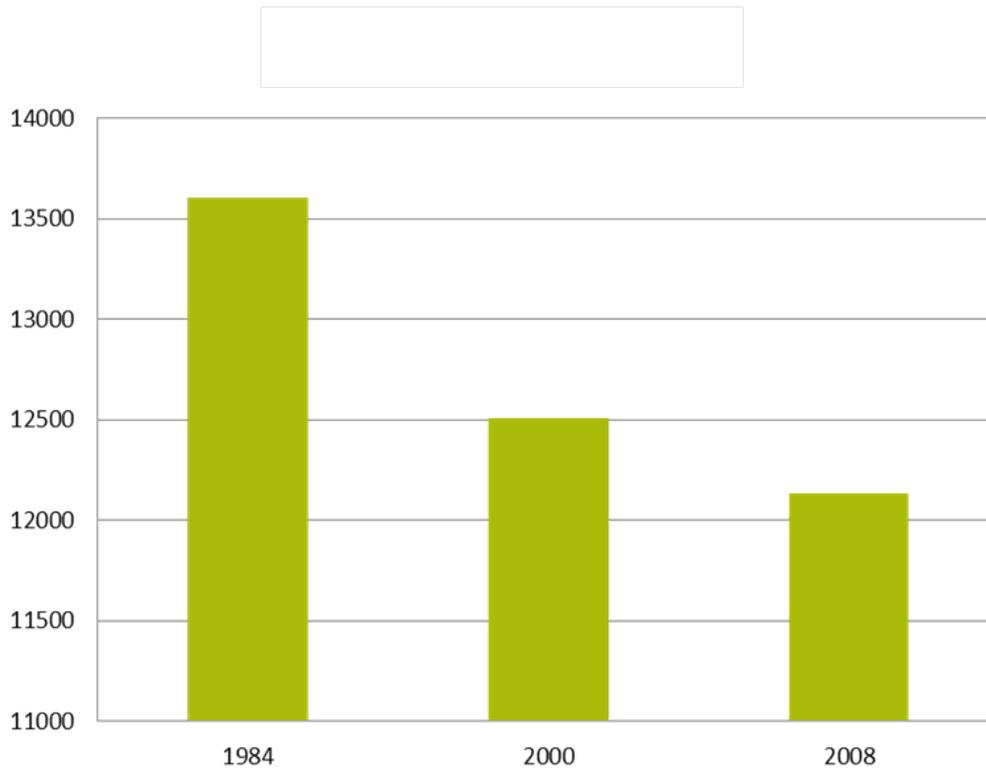


Figura 10. Comportamiento de AT.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de tasa de crecimiento tenemos que:

De 1984 a 2000: disminuyó 8.08%, lo que equivale a 1,100 hectáreas.

De 2000 a 2008: disminuyó 3.04 %, lo que equivale a 370 hectáreas.

Bosque de encino (BE)

Dentro de la cuenca se encuentran diferentes tipos de bosques, entre ellos está el Bosque de Encino y su tendencia se muestra en la figura 11. La superficie del BE ha ido decreciendo, esto se debe principalmente a la tala clandestina y a los desmontes, cuyo propósito es dedicar estos terrenos a las actividades económicas. Aunque no hay que olvidar que los incendios forestales pueden influir también en los cambios de usos de suelo. El bosque de encino ha perdido del año de 1984 al 2000 161.2 hectáreas y se encuentra gráficamente expresado en la siguiente imagen:



Figura 11. Comportamiento de BE.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de las tasas de crecimiento se tiene que:

De 1984 a 2000: disminuyó 4.5%, lo que equivale a 112.7 hectáreas.

De 2000 a 2008: disminuyó 2%, lo que equivale a 48.5 hectáreas.

Bosque Mesófilo de Montaña (BMM)

La tendencia de este bosque en el periodo de estudio se muestra en la figura 12, la cual es de decremento y esto se debe a las mismas causas a las que se enfrenta el bosque de encino (tala y deforestación), del año de 1984 al 2008 los bosques mesófilos de montaña han perdido 11.7 hectáreas, las que se encuentran gráficamente expresadas en la siguiente imagen.

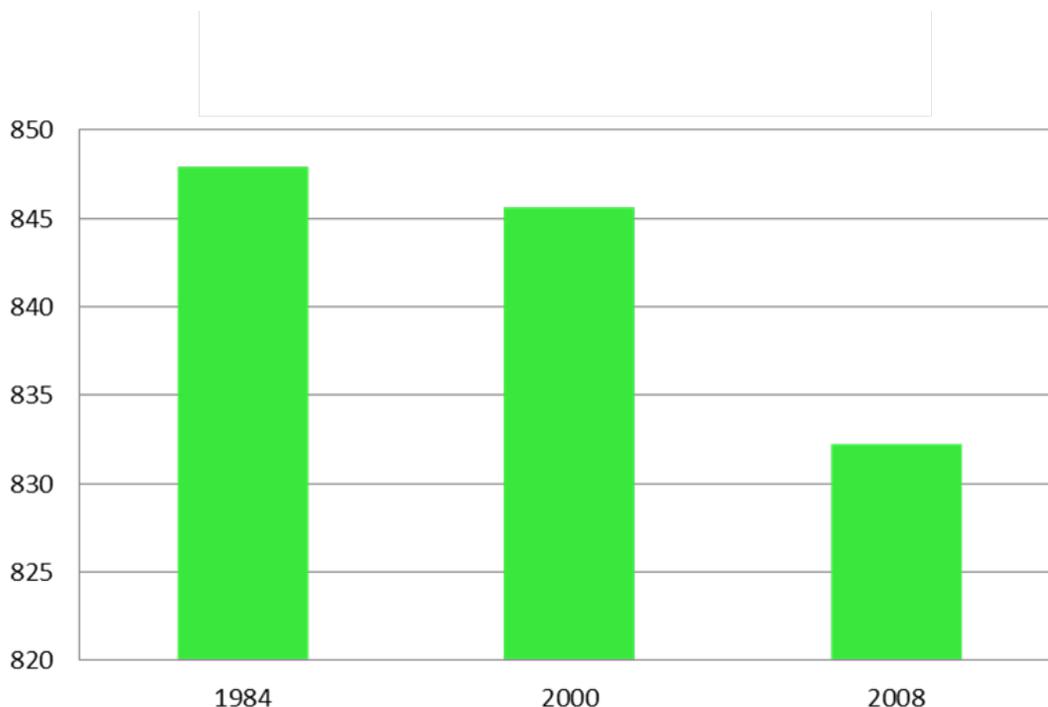


Figura 12. Comportamiento de BMM.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de tasa de crecimiento se tiene que:

De 1984 a 2000: disminuyó 0.2%, lo que equivale a 2.3 hectáreas.

De 2000 a 2008: disminuyó 1.6%, lo que equivale a 9.4 hectáreas.

Bosque de Oyamel incluye Ayarín y Cedro (BOAC)

Para el caso de este tipo de bosque la tendencia en el periodo de estudio se mantuvo constante con una superficie de 394 hectáreas.

Bosque de Pino (BP)

La superficie localizada y cuantificada en 1984, 2000 y 2008 fue de 356.7 hectáreas. Es decir, la superficie se mantuvo constante, a pesar de que su madera es apreciada y demandada por parte de los carpinteros.

Bosque de Pino-Encino y-Encino-Pino (BPE-EP)

El Bosque de Pino-Encino muestra una tendencia de aumento, a diferencia de los otros bosques y éstos ha aumentado de 1984 al 2008 212.7 hectáreas como se puede apreciar en la siguiente figura.

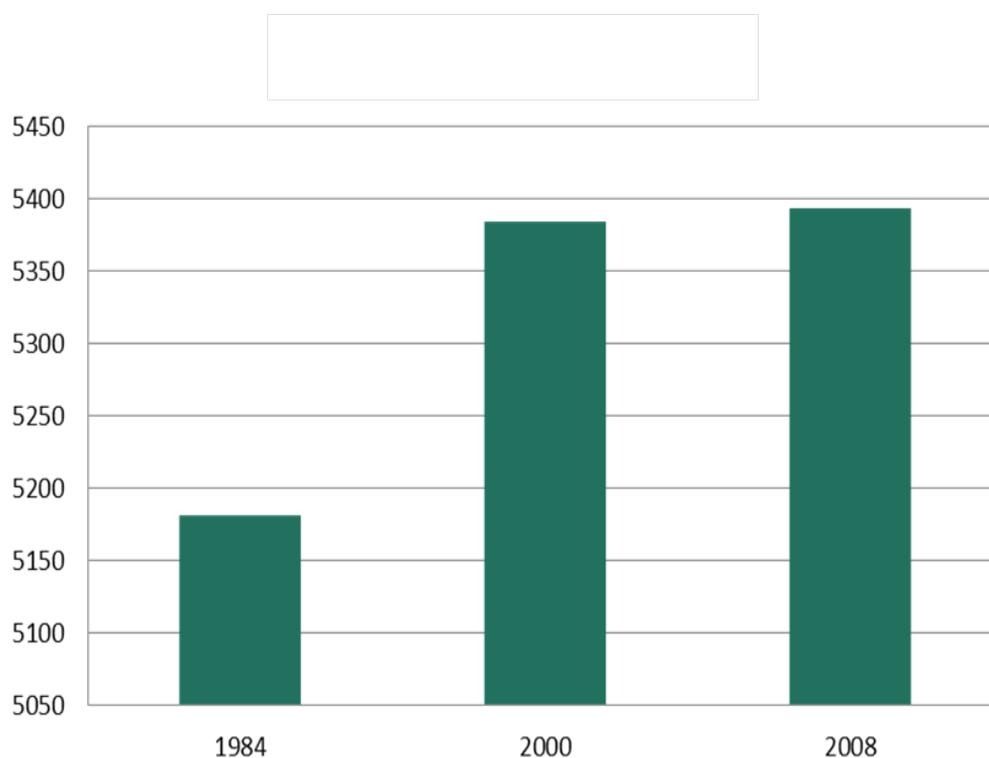


Figura 13. Comportamiento de BPE – EP.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de tasa de crecimiento se tiene que:

De 1984 al 2000: aumentó 3.7%, lo que equivale a 203.4 hectáreas.

De 2000 a 2008: aumentó 0.1%, lo que equivale a 93 hectáreas.

Bosque de Pino-Encino con Vegetación Secundaria (BPEVS)

Para el bosque de pino-encino con vegetación secundaria, presenta una tendencia de aumento, sobre todo del año de 2000 al 2008, el cual fue de 545.5 hectáreas.

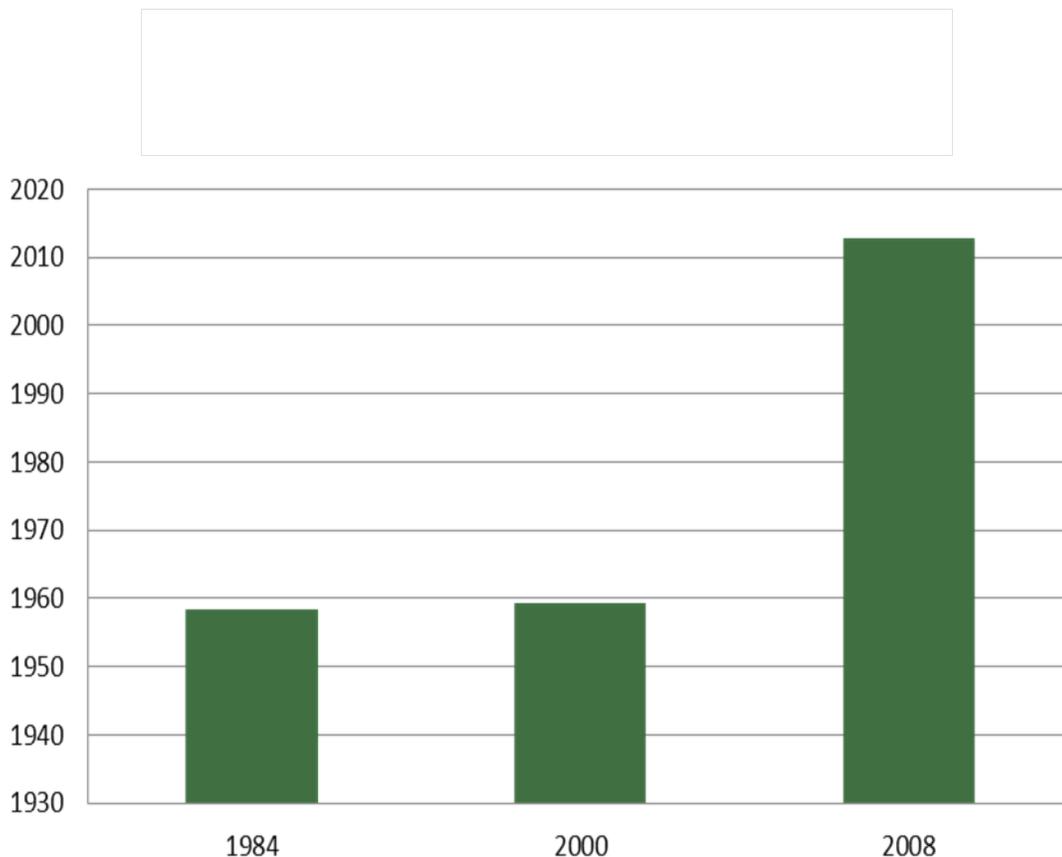


Figura 14. Comportamiento BPEVS.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de la tasa de crecimiento se tiene que:

De 1984 a 2000: aumentó 0.05%, lo que equivale a 1 hectárea.

De 2000 a 2008: aumentó 2.6%, lo que equivale a 53.5 hectáreas.

Bosque de Táscate (BT)

La tendencia del Bosque de Táscate es casi constante, aunque las cifras muestran que han variado muy pocas hectáreas.

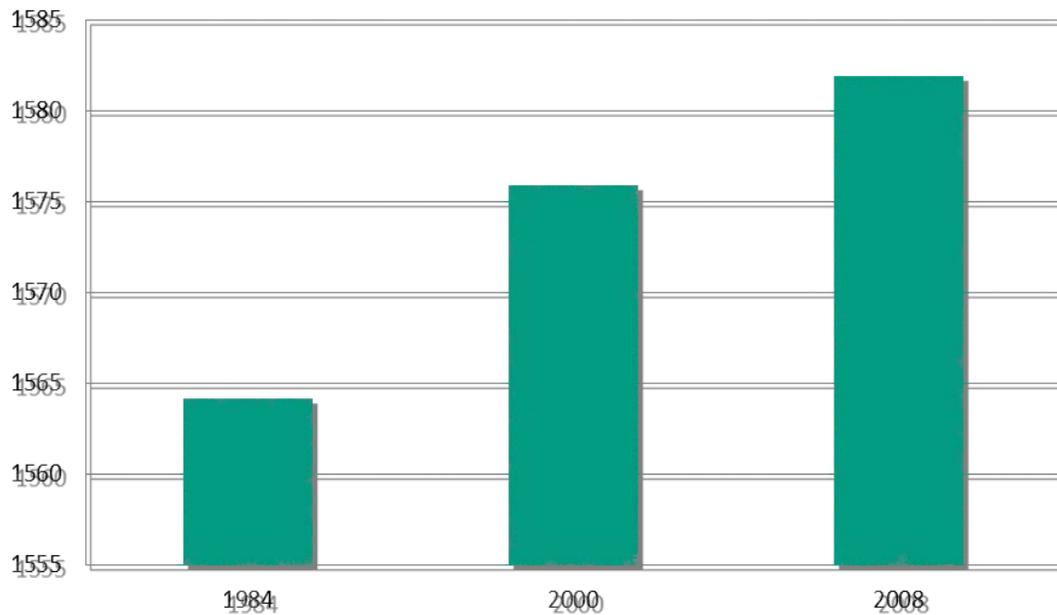


Figura 15. Comportamiento BT

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de la tasa de crecimiento se tiene que:

De 1984 a 2000: aumentó 0.7%, lo que equivale a 11.7 hectáreas.

De 2000 a 2008: aumentó 0.3%, lo que equivale a 6 hectáreas.

Cárcavas (C)

Las cárcavas dentro de la zona de estudio presentan tendencia que aparece en la figura 15. Esta va en descenso, sobre todo del año de 1984 al 2000, mientras que del 2000 al 2008 el número de hectáreas se mantuvo constante, la disminución en hectáreas del primer al último periodo de tiempo fue de 42.6 ha.

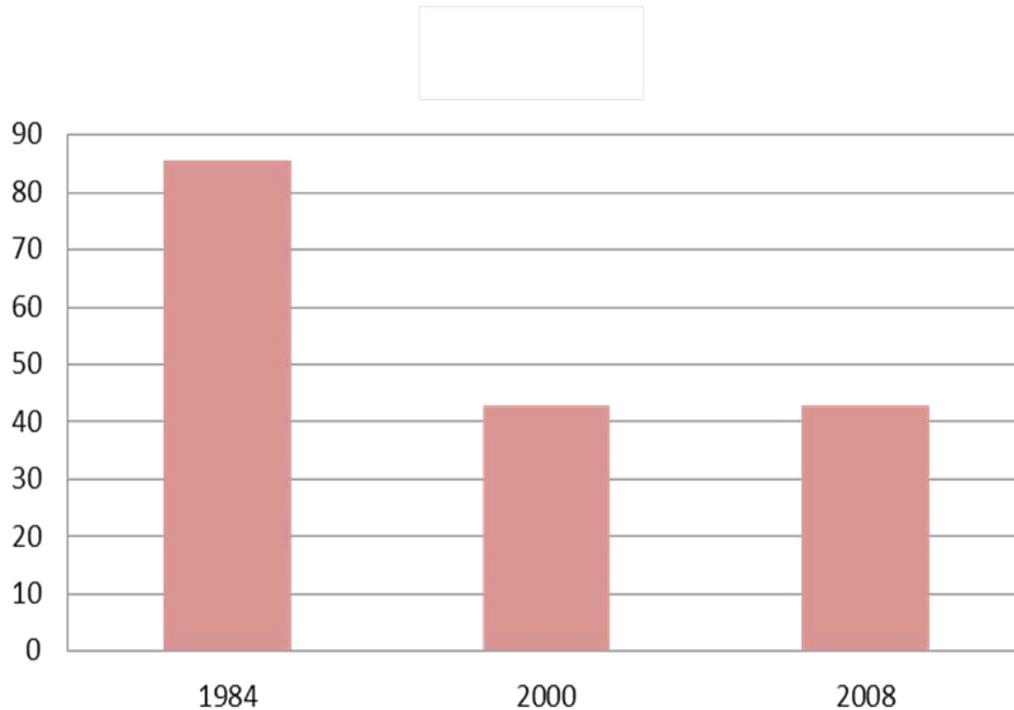


Figura 16. Comportamiento de C.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de la tasa de crecimiento se tiene que:

De 1984 a 2000: disminuyó 40% lo que equivale a 42.6 hectáreas.

De 2000 a 2008: disminuyó 0%.

Pastizal de Alta Montaña (PAM)

En el caso de la Pradera de Alta Montaña, la tendencia para las tres épocas se mantuvo igual, abarcando aproximadamente 150 hectáreas.

Pastizal Inducido (PI)

En lo que corresponde al Pastizal Inducido, la tendencia de esta categoría se muestra en la figura 16. El comportamiento de ésta categoría es muy diferente, ya que del año de 1984 al 2000 se presenta un incremento, pero del año del 2000 al 2008 se presenta un pequeño decremento, esto se debe a la variabilidad de las actividades económicas relacionadas con la ganadería dentro de la región.

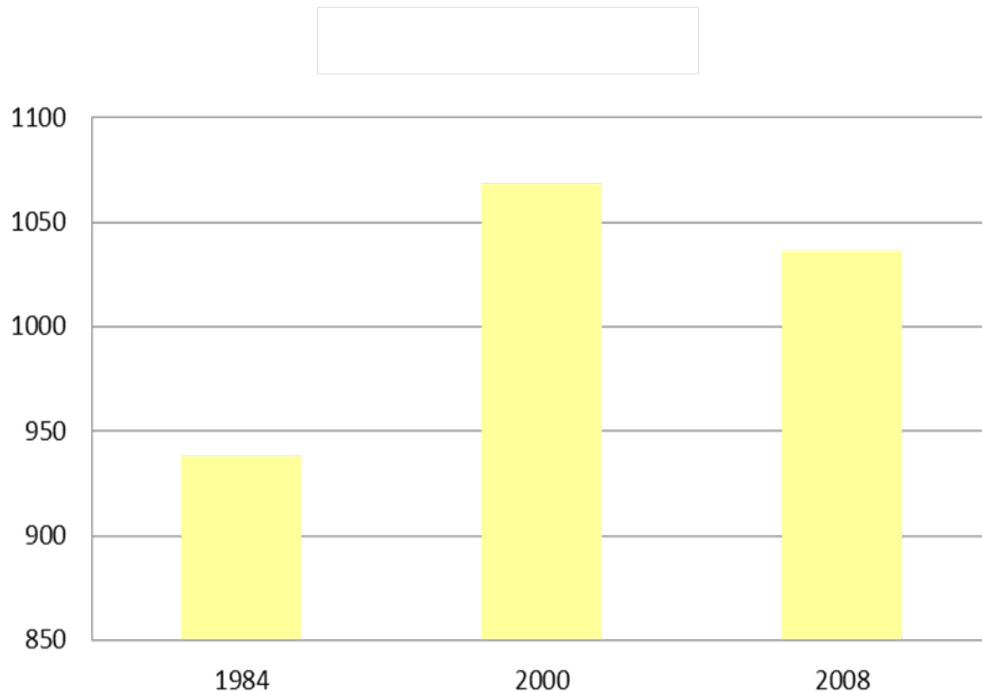


Figura 17. Comportamiento de PI.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de tasa de crecimiento se tiene que:

De 1984 a 2000: aumentó 12%, lo que equivale a 130 hectáreas.

De 2000 a 2008: disminuyó 3.1%, lo que equivale a 32.7 hectáreas.

Selva Baja Caducifolia y Subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

La Selva Baja Caducifolia y Subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea, presenta una tendencia de decremento del año 2000 al 2008 ya que del año de 1984 al 2000 se muestra igual y la tasa de decremento del año 2000 al 2008 es del 4%.

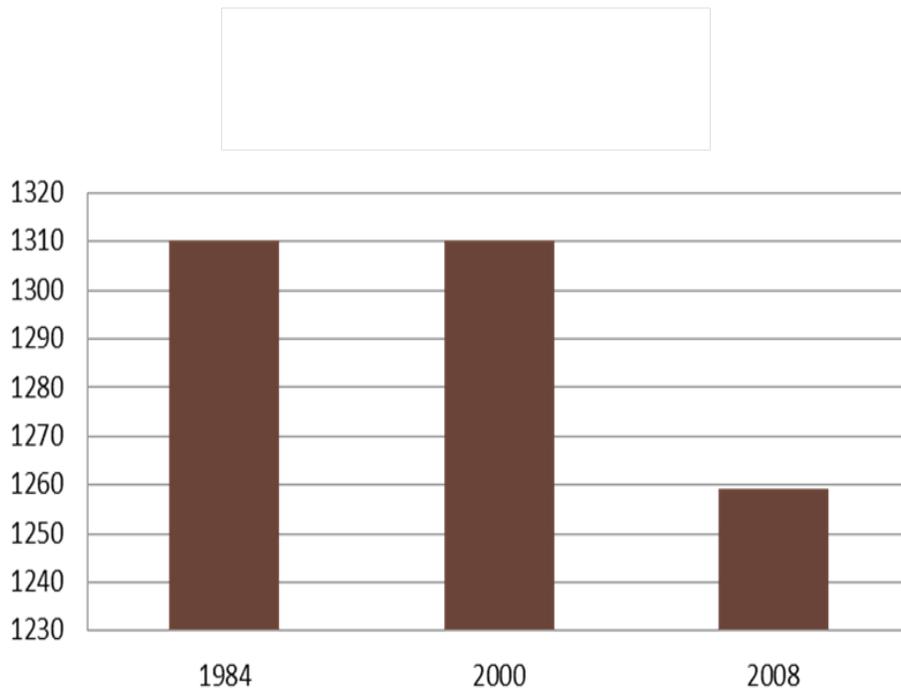


Figura 18. Comportamiento SBCSVSAH.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula de tasa de crecimiento se tiene que:

De 1984 a 2000 se mantuvo igual.

De 2000 a 2008: disminuyó 3.9%, lo que equivale a 51.2 hectáreas.

Como ya se pudo observar en las gráficas anteriores, son diferentes los comportamientos de los usos de suelo y cobertura vegetal, algunos de ellos han tendido a aumentar, especialmente los usos de suelo como son los Asentamientos humanos y la Agricultura de riego y riego eventual, por otro lado las coberturas vegetales son las que en su mayoría han ido perdiendo extensión dentro de la zona.

En el siguiente estudio se hará un análisis relacionado a estos comportamientos de aumento y decremento de áreas, y con ayuda de las bases de datos y de la cartografía empleada se podrán apreciar las zonas que han aumentado a costa de la disminución de otras, es decir, identificar las áreas ganadoras y perdedoras.

4.2. Análisis de áreas ganadoras y perdedoras.

4.2.1 Análisis general

Dentro de los usos de suelo de origen antrópico se tienen lo que se refiere a asentamientos humanos y agricultura de riego y riego eventual presentan un aumento en los tres periodos de tiempo. En cuanto a los asentamientos humanos estos se encuentran dispersos a lo largo de la cuenca, pero la mayor concentración se presenta en la parte centro de la cuenca, correspondiente a Tenancingo, y hacia el sur en Zumpahuacán. Con lo que respecta a la agricultura de riego ha aumentado de igual forma, concentrándose en la parte centro y este de la cuenca y se desplaza hacia el sur de la misma. Es importante mencionar que la agricultura de riego es el uso de suelo que por extensión ocupa el segundo lugar dentro de la cuenca.

Existe una relación estrecha entre la agricultura y la población. Lo anterior, tiene sentido ya que al haber un crecimiento poblacional también se incrementa la superficie de los AH y por ende las actividades económicas. En la cuenca del río Tenancingo la principal actividad económica es la relacionada con la agricultura de temporal, seguida de la agricultura de riego y riego eventual, y por la ganadería (pastizales). (Ver figuras 2, 3 y 4).

De acuerdo con el Plan Municipal de Desarrollo de Tenancingo, 2000, en Tenancingo el sector primario correspondiente a las actividades agropecuarias tiene mayor importancia que las actividades del sector secundario y terciario. Esto tiene lógica sí se le relaciona con los usos obtenidos en la cartografía, para los tres periodos de tiempo analizados en este proyecto de investigación, ya que los resultados indican que la zona con mayor uso de suelo dedicado a la agricultura corresponde al municipio de Tenancingo y se desplaza hacia el sur de la cuenca hasta Villa Guerrero y Zumpahuacán. Con ello se demuestra que las actividades predominantes dentro de la cuenca son la agricultura de temporal y riego.

En lo que corresponde a la agricultura de temporal se puede observar un descenso en la actividad entre 1984 y 2008. La AT es una de las categorías de usos de suelo dentro de la

cuenca que ocupa mayor extensión, abarcando toda la zona norte (Joquicingo, Tenango del Valle y parte de Tenancingo), aunque se encuentra en menor cantidad hacia el sur de la zona, ésta categoría presenta una disminución aunque no muy amplia pero se ha visto influenciada por la aparición de nuevos Asentamientos Humanos y la expansión de la Agricultura de Riego.

Esta situación tiene una explicación razonable, y no se trata de la producción de granos o alimentos, sino que la zona de Tenancingo y Villa Guerrero principalmente han adquirido una nueva modalidad de producción primaria y han adoptado la floricultura como principal actividad. Esto es debido a que la zona presenta condiciones geográficas favorables para llevar a cabo la actividad y la rentabilidad, que es otro aspecto favorable para la producción de flores.

Cabe señalar que en las últimas décadas, diversas empresas nacionales e internacionales dedicadas a esta forma de producción han adquirido en Tenancingo y Villa Guerrero, terrenos para la floricultura. Otra situación que se presentan la cuenca es que muchos de los campesinos, como resultado de la reforma a la Ley Agraria y la globalización, se han visto en la necesidad de vender o rentar sus parcelas a empresas florícolas, lo que ha traído un aumento en el empleo dentro de la población, ya que son contratados por las mismas empresas para trabajar en invernaderos.

Por otro lado, el uso irracional de fertilizantes químicos y pesticidas ha traído múltiples problemas. Dichos problemas se manifiestan en contaminación del suelo y agua, pero son de importancia los relacionados con la salud de los trabajadores. En recorridos de campo al tratar de hablar sobre los impactos negativos a la salud con los trabajadores, estos prefieren no tocar el tema y se molestan que les hagan preguntas de este tipo.

Con respecto a los impactos negativos al suelo, una situación recurrente en las zonas de producción florícola es la pérdida de fertilidad del suelo ya que con el transcurrir del tiempo, dichos suelos pierden su fertilidad y por lo tanto se abate la productividad tanto del suelo como de los cultivos. La salida que se le da a este problema es el abandono de estos terrenos y las empresas se desplazan a otras áreas de producción más fértiles. Al final de cuentas, y como

se puede observar todo es un ciclo, es un flujo de energía entre sistemas en donde aumenta uno disminuye otro y así sucesivamente.

Ahora, en lo que corresponde a la cobertura carácter natural, se tiene principalmente a los bosques. En el caso de los bosques de encino y los bosques mesófilos de montaña han presentado una pequeña disminución del año de 1984 al 2008, y representan una parte mínima de la cuenca. El BMM se localiza sobre todo en la zona noreste de la cuenca, correspondiente al municipio de Tenancingo y su disminución se ve influenciada por la expansión de la agricultura de temporal y en una mínima parte por pastizales. En el caso del BE, se ubica esparcido en pequeñas áreas en la zona centro de la cuenca y se desplaza hacia el sur, su disminución se ve influenciada por el aumento de la agricultura tanto de riego como temporal.

El bosque de pino-encino y el de pino-encino con vegetación secundaria han presentado en las tres décadas un aumento en su extensión, abarcando en su mayoría la parte noroeste de la cuenca. Su crecimiento se atribuye a la agricultura de temporal, esto puede ser consecuencia de regeneración natural inducida que puede ser resultado de nuevos brotes de las especies en áreas que ya no son utilizadas para actividades primarias o por las plantaciones forestales realizadas por la comunidad.

El bosque de Tásate por su parte también ha presentado un ligero aumento en las últimas décadas, y se presenta en la zona sur de la cuenca, abarcando principalmente el municipio de Zumpahuacán, disminuyendo áreas de agricultura de temporal y de pastizales, el proceso puede ser el mismo que lo que ocurre con el bosque de pino-encino.

Lo que corresponde a las cárcavas han presentado una disminución en los tres periodos de tiempo, concentradas en pequeñas proporciones cerca de los bosques, las causas de su decremento de acuerdo con la cartografía elaborada corresponde a la regeneración de los bosques, ya que al existir cubierta vegetal se controla el proceso de erosión y de arrastre de materiales y sedimentos.

Para el caso del pastizal inducido, se puede observar en el cuadro 5, un ligero aumento en el período de 1984 al 2000, mientras que del 2000 al 2008 se presenta una pequeña disminución, esta categoría se encuentra principalmente en la zona sur de la cuenca, y se ve afectado el bosque de táscate y encino, así como la agricultura de riego.

Por último, en el caso de la selva baja caducifolia, se puede apreciar una disminución del año 2000 al 2008, viéndose afectada por la agricultura de riego.

4.4.2 Análisis particular

En el primer análisis se muestra de manera estadística y gráfica la dinámica de cada una de las categorías de usos de suelo y cobertura vegetal identificadas, para poder entenderlo de mejor forma se analizan las áreas ganadoras y perdedoras correspondientes a las variaciones ya mencionadas anteriormente, es decir, aquellas que crecen a costa de la disminución de otras.

Para este análisis se realizó una sobreposición cartográfica para los tres periodos de tiempo y se observó hacia dónde se iban desplazando las categorías y que espacios iban quitando y los resultados se muestran a continuación.

Asentamientos Humanos – Agricultura Temporal

Los asentamientos humanos han ido aumentando de manera significativa y han pasado a tomar áreas que originalmente habían sido utilizadas para la agricultura de temporal, en la siguiente figura se muestra su relación.

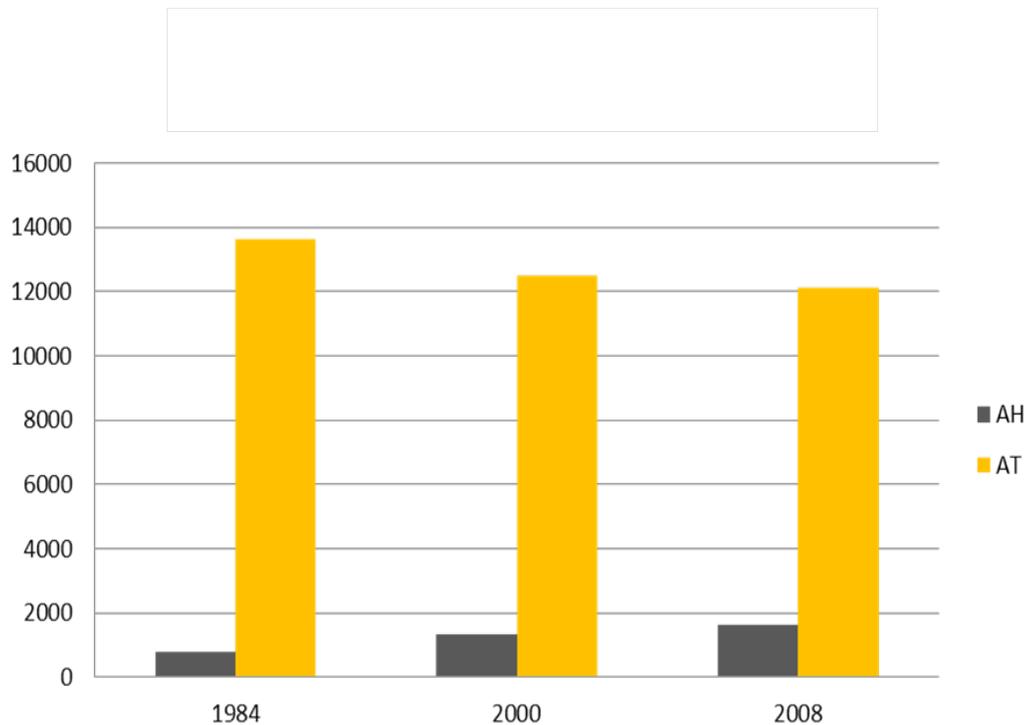


Figura 19. Asentamientos Humanos - Agricultura Temporal.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área Ganadora: Asentamientos humanos, aumentó un 56.9%, lo que equivale a 811 hectáreas.

Área Perdedora: Agricultura temporal, disminuyó 11.12%, lo que equivale a 1470 hectáreas.

Agricultura de Riego-Riego Eventual – Agricultura Temporal

La agricultura de riego también ha aumentado a costa de la disminución de áreas destinadas a la agricultura de temporal como se muestra en la figura 19.

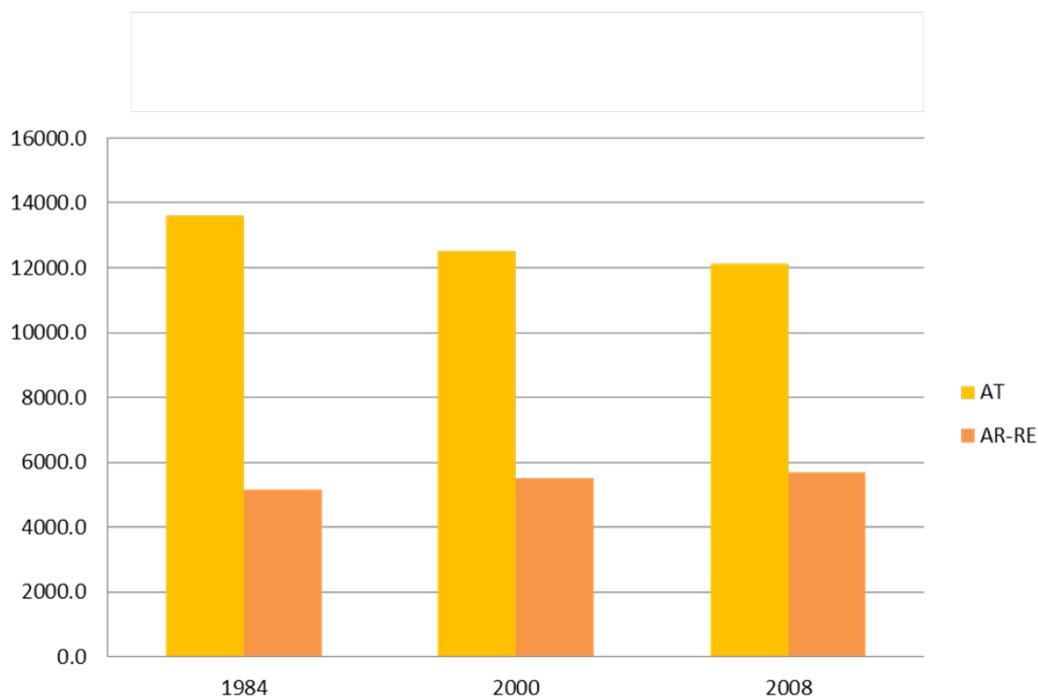


Figura 20. Agricultura Temporal-Agricultura de Riego y Riego Eventual.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área ganadora: Agricultura de Riego y Riego Eventual, aumentó 9.6%, lo que equivale a 542.7 hectáreas.

Área perdedora: Agricultura de Temporal, disminuyó 11.12%, lo que equivale a 1470 hectáreas.

Bosque Encino-Agricultura Temporal

El bosque de encino, por su parte presenta una ligera disminución en cuanto a sus proporciones, y pese a que la agricultura de temporal también ha ido disminuyendo **ésta** categoría ha pasado a ser la responsable de la disminución del área de los bosques de encino, a continuación se muestra la Figura 20.

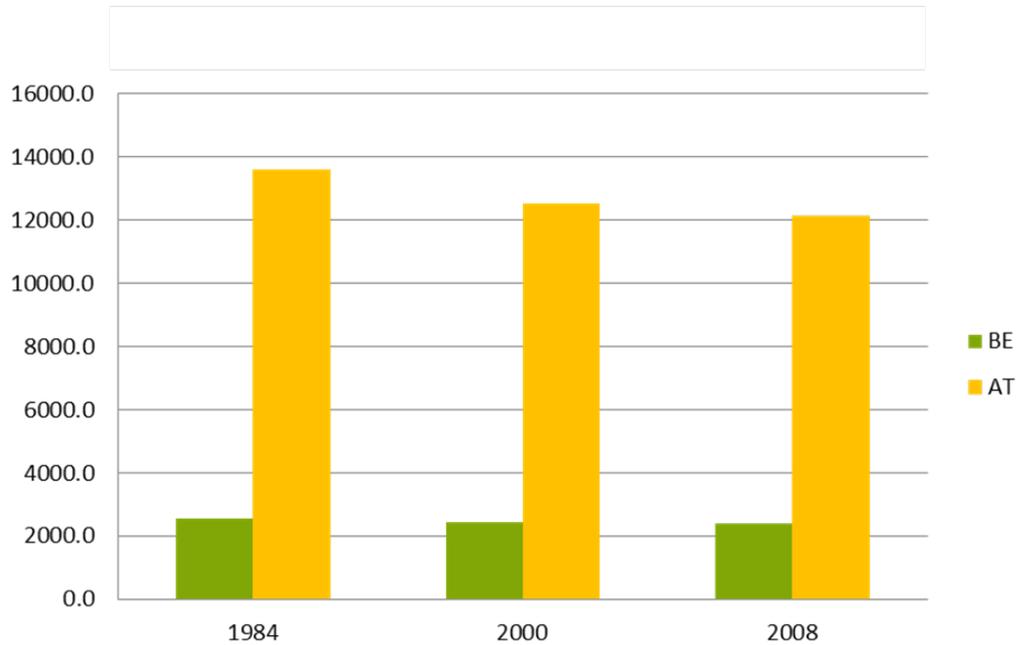


Figura 21. Bosque Encino - Agricultura Temporal.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área Ganadora: Agricultura Temporal, pese a que la AT ganó espacio ante el BE, no se presenta reporte ya que en general la AT disminuyó en hectáreas.

Área perdedora: Bosque de Encino, disminuyó 6.5%, lo que equivale a 11.7 hectáreas.

Bosque Mesófilo de Montaña-Agricultura de Temporal-Pastizal Inducido

En el caso del bosque mesófilo de montaña, se ha presentado una disminución en su extensión territorial, aunque ésta ha sido mínima se ha visto afectada por el Pastizal Inducido que en el año de 1984 al 2000 fue incrementando en esta zona y para el año 2008 desaparece completamente de los bosques mesófilos.

A continuación se muestra el comportamiento de las categorías ya mencionadas.

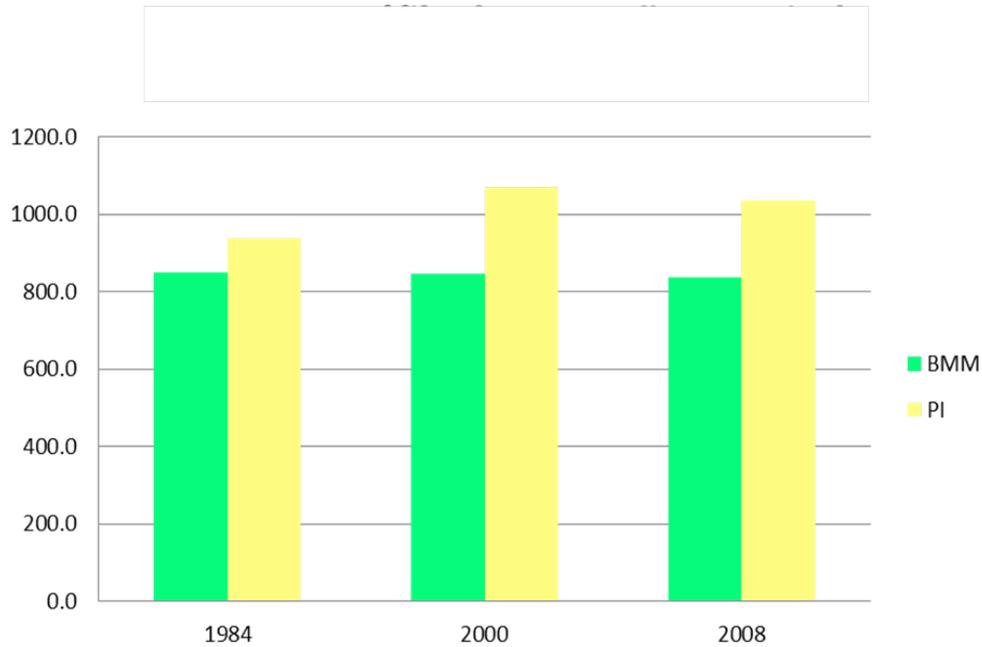


Figura 22. Bosque Mesófilo de Montaña-Pastizal Inducido.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área ganadora: Pastizal Inducido. Aumentó 9%, lo que equivale a 97.3 hectáreas.

Área Perdedora: Bosque Mesófilo de Montaña. Disminuyó 1.8%, lo que equivale a 11.7 hectáreas.

Bosque de Oyamel (ayarín y cedro) y Bosque de Pino.

Para el caso del Bosque de Oyamel (ayarín y cedro) y el bosque de pino no hubo variación espacial por lo que no se puede asociar con ningún otro uso de suelo.

Bosque Pino-Encino – Agricultura Temporal

En lo que corresponde a los bosques de pino encino, se ha notado un pequeño incremento en su área, abarcando espacios de agricultura de temporal como se muestra a continuación.

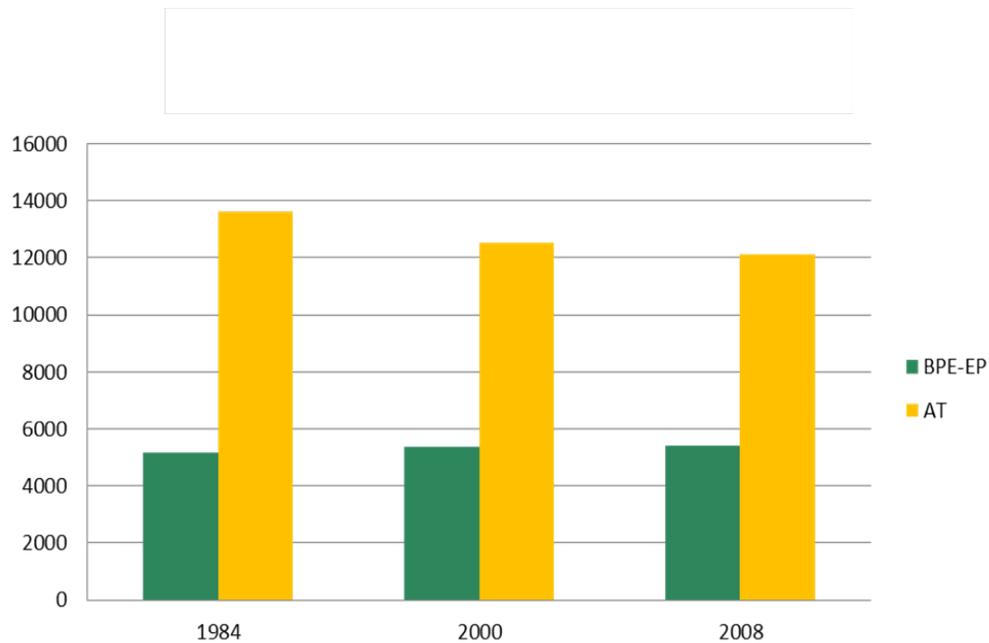


Figura 23. Bosque de Pino y Encino-Agricultura Temporal.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área ganadora: Bosque de Pino-Encino. Aumentó 3.8%, lo que equivale a 296 hectáreas.

Área perdedora: Agricultura de Temporal. Disminuyó 11.12%, lo que equivale a 1470 hectáreas.

Bosque de Pino y Encino con Vegetación Secundaria-Agricultura Temporal

De igual manera que el Bosque de Pino Encino, el que presenta vegetación secundaria arbustiva también ha ido incrementando (muy poco) en los tres periodos de tiempo, extendiéndose en pequeñas proporciones en áreas que eran destinadas para la práctica de la agricultura de temporal y su relación se muestra en la figura 23.

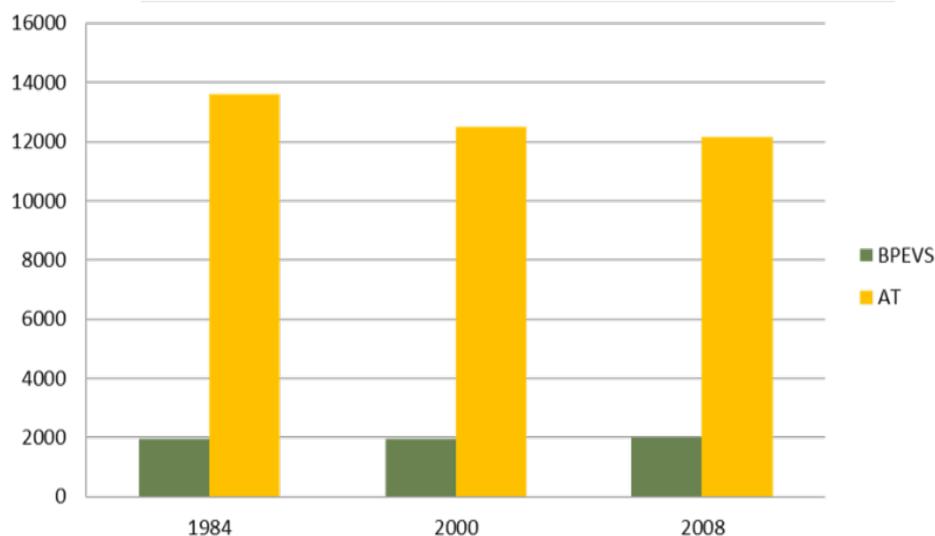


Figura 24. Bosque de Pino y Encino con Vegetación Secundaria – Agricultura Temporal.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área ganadora: Bosque de Pino- Encino con vegetación secundaria. Aumentó 2.65%, lo que equivale a 53.5 hectáreas.

Área perdedora: Agricultura de Temporal. Disminuyó 11.12%, lo que equivale a 1470 hectáreas.

Bosque de Táscate-Agricultura Temporal

El bosque de Táscate por su parte también ha presentado un ligero aumento en cuanto a su área, sobre todo en la parte sur de la cuenca dónde es más notorio este proceso, abarcando espacios que eran destinado a la práctica de la agricultura de temporal.

En la figura 24, se puede apreciar la relación que presenta el aumento del área de los bosques de táscate con la disminución de la agricultura de temporal.

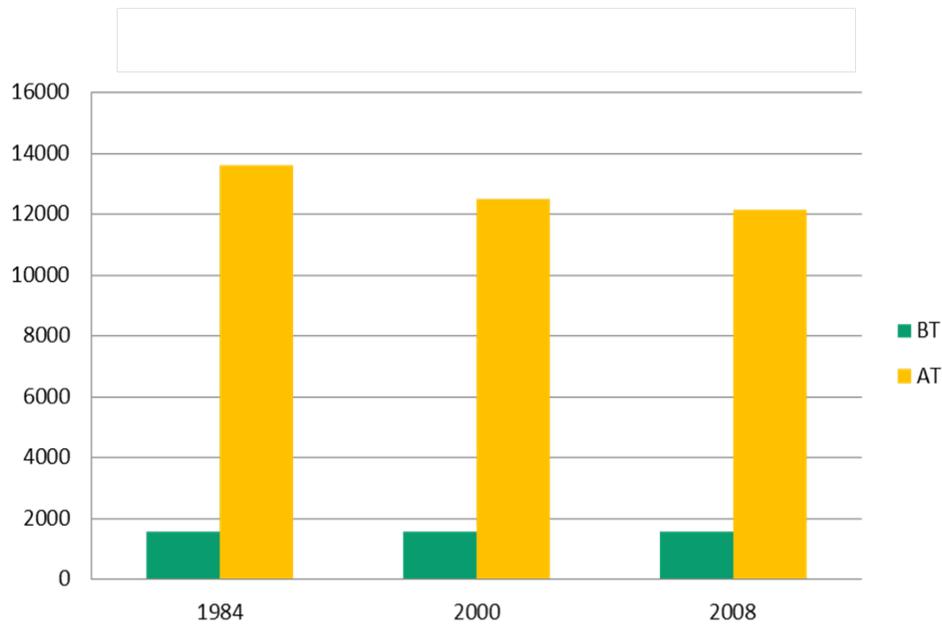


Figura 25. Bosque de Tásate-Agricultura Temporal.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área ganadora: Bosque de Tásate. Aumentó 1%, lo que equivale a 17.7 hectáreas.

Área perdedora: Agricultura de Temporal. Disminuyó 11.12%, lo que equivale a 1470 hectáreas.

Cárcavas

Para el caso de las Cárcavas, cabe mencionar que sólo presentaron una disminución en lo que corresponde al periodo de 1984 al 2000, del 2000 a 2008 estas áreas se han mantenido igual. Es difícil explicar exactamente a qué áreas se le cedió espacio cuando disminuyó ya que se encuentra en áreas muy pequeñas y esparcidas alrededor de toda la zona de estudio, sin embargo cabe mencionar que las áreas que han estado cerca de las cárcavas corresponden a la Agricultura de temporal y al bosque de pino – encino, por lo que en este caso se podría asumir que al momento de aumentar en Bosque de Pino y Encino las cárcavas cercanas disminuyeron en su proporción y se muestra en la figura 25.

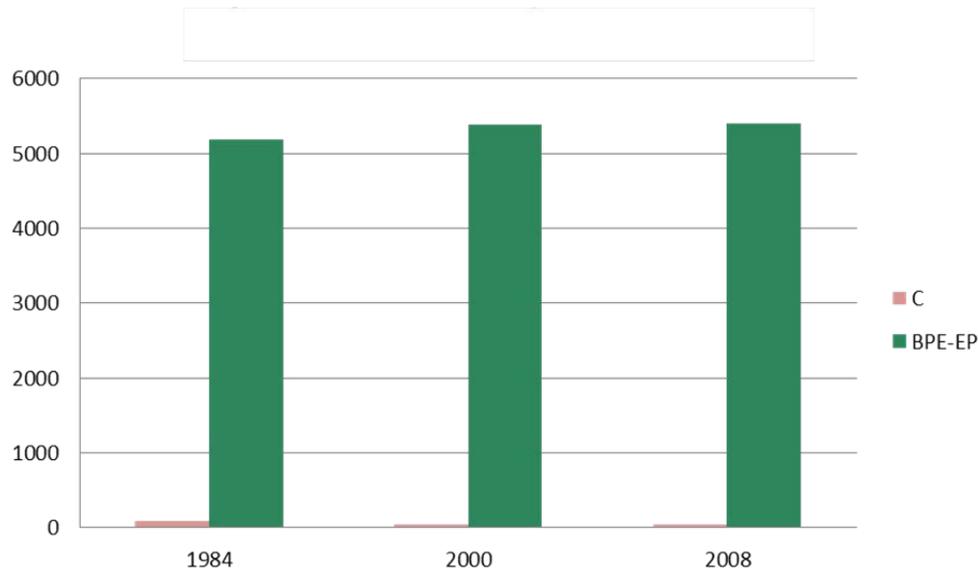


Figura 26. Cárcevas-Bosque de Pino y Encino.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área ganadora: Bosque de Pino – Encino, aumentó 3.8%, lo que equivale a 296 hectáreas.

Área perdedora: Cárcevas. Disminuyó 40%, lo que equivale a 42.6 hectáreas.

Pradera de Alta Montaña

La pradera de alta montaña por su parte, no ha presentado ningún cambio en el área ni en su distribución, por lo que no es necesario mostrar ninguna figura.

Pastizal Inducido.

El caso para el pastizal inducido es variante, del período de 1984 al 2000 el pastizal presentó un incremento significativo, mientras que del año 2000 al 2008 disminuyó.

Se puede notar en la cartografía que aparecieron en el período de 1984 al 2000 diferentes áreas destinadas al pastoreo, y las principales se encuentran al noroeste de la cuenca, quitando espacio a los bosques mesófilos de montaña, por lo que tiene sentido que parte de la disminución de éstos se deba a la aparición de pastizales inducidos como se muestra la figura 26.

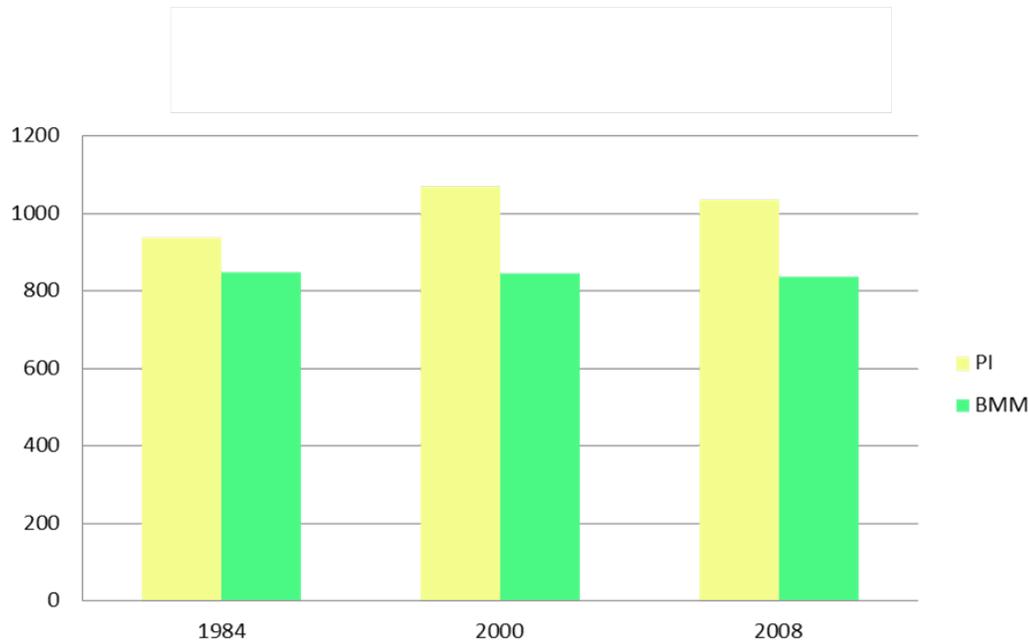


Figura 27. Pastizal Inducido–Bosque Mesófilo de Montaña

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área ganadora: Pastizal Inducido. Aumentó 15.1%, lo que equivale a 162.7 hectáreas.

Área perdedora: Bosque Mesófilo de Montaña. 1.8%, lo que equivale a 11.7 hectáreas.

Selva Baja Caducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea

Para el caso de la selva baja, de acuerdo con los datos obtenidos durante la investigación presenta el mismo número en cuanto su área correspondiente a los años de 1984 – 2000, pero del año 2000 al 2008 se presenta una disminución de la misma.

Este proceso está completamente relacionado a las actividades antrópicas, ya que en la zona sur aparecieron pequeñas áreas destinadas tanto a la agricultura de temporal como a los pastizales, y pese a que ambas categorías también disminuyen, en este caso la movilidad y la búsqueda de áreas óptimas para mantener estas actividades ha ido disminuyendo el uso de suelo correspondiente a la Selva Baja Caducifolia, sin embargo de ambas categorías

influyentes, la que más espacio ha quitado en los últimos años ha sido el pastizal inducido, cuya relación se observa en la figura 25.

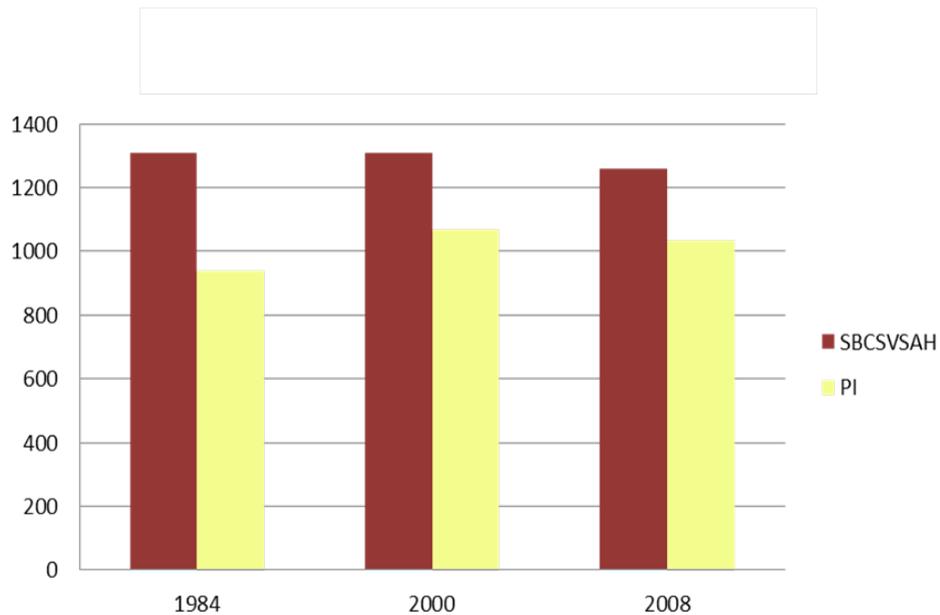


Figura 28. Selva Baja Caducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea-Pastizal Inducido.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

De 1984 al 2008 se observan los siguientes comportamientos:

Área ganadora: Pastizal Inducido. Aumentó 15%, lo que equivale a 162.7 hectáreas.

Área perdedora: Selva Baja Caducifolia. Disminuyó 3.9%, lo que equivale a 51.2 hectáreas.

Como se puede apreciar durante el análisis cartográfico y en las figuras anteriores, cada categoría al aumentar provoca la disminución de otra y así respectivamente, este análisis se realizó con la finalidad de comprender este proceso y de esta manera encontrar las áreas que presentan mayor influencia dentro de la cuenca, así como definir las posibles causas de sus aumentos o disminuciones y saber de esta manera como pueden afectar en el futuro.

En el siguiente análisis se agrupa en dos grandes categorías: usos de suelo y cobertura vegetal, para finalmente saber cuál de ellas tiene mayor incidencia dentro de la cuenca y cuál ha aumentado a costa de la disminución de la otra.

4.5 Análisis antrópico de usos de suelo versus cobertura vegetal.

En este apartado, para finalizar con los estudios, se crearon dos grandes grupos: usos de suelo, los cuales son enfocados a las actividades antrópicas, y la cobertura vegetal, en la que predominan las áreas naturales (vegetación), esto con la finalidad de apreciar cuál de las dos ha tenido mayor incidencia dentro de la zona, así como sus tendencias y cuál de ellas ha aumentado a costa de la disminución de la otra.

En el cuadro 6 se puede apreciar la cobertura vegetal natural y por otro lado, los usos de suelo que son resultado de transformaciones para las actividades económicas de la población y sus asentamientos.

La vegetación natural corresponde a: Bosque de encino (BE); Bosque Mesófilo de Montaña (BMM); Bosque de Oyamel (incluye ayarín y cedro) (BOAC); Bosque de pino (BP); Bosque de pino – encino (BPE – EP); Bosque de pino – encino con vegetación secundaria (BPEVS); Bosque de Táscate (BT); Pradera de alta montaña (PAM) y Selva baja caducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea (SBCSVSAH). Para el año 1984 el porcentaje del total del territorio que ocupaba la cobertura vegetal fue del 41.1%, mientras que para el año 2000 el porcentaje fue de 41.3% y finalmente para el año 2008 fue de 41.2%.

En lo que se refiere a los usos de suelo relacionado con las actividades humanas sólo engloba cuatro categorías, a saber: Asentamientos Humanos (AH), Agricultura de Riego-Riego eventual (AR-RE), Agricultura de temporal (AT) y Pastizal Inducido (PI). Para el año 1984 el porcentaje del total del territorio que ocupaban los suelos destinados a actividades antrópicas

fue del 58.7%, mientras que para el año 2000 el porcentaje fue de 58.5% y finalmente para el año 2008 fue de 58.6 %.

Como se puede observar, los datos arrojados para los tres periodos de tiempo se mantienen estables, abarcando poco más de la mitad de la extensión de la cuenca los usos de suelo relacionados con las actividades económicas de la población.

Por último, existen dos categorías de usos de suelo que pueden ser derivados tanto por actividades antrópicas como por causas naturales y estas son: Área sin vegetación aparente (ASVA) y Cárcavas (C).

En los cuadros 7 y 8 se muestra numéricamente la distribución de los usos de suelo dividida por origen del mismo.

Cuadro 7. Usos de suelo

Clave / año	1984	2000	2008
AH	802.5	1345.5	1613.6
AR-RE	5152.2	5520.5	5694.9
AT	13606.2	12505.8	12135.8
PI	937.7	1068.5	1035.8
Total	20498.6	20440.3	20480.1

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI.

Cuadro 8. Cobertura vegetal

Clave / año	1984	2000	2008
BE	2596.6	2456.9	2408.4
BMM	847.9	845.6	836.2
BOAC	394.0	394.0	394.0
BP	356.7	356.7	356.7
BPE-EP	5181.2	5384.6	5393.9
BPEVS	1958.3	1959.3	2012.8
BT	1564.2	1575.9	1581.9
PAM	154.7	154.7	154.7
SBCSCVSA	1310.4	1310.4	1259.2
Total	14364.0	14438.1	14397.8

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI.

En este caso no se tomará en cuenta los usos de suelo que pueden ser derivados de cualquiera de las dos formas, ya que son áreas bastante pequeñas y en la cartografía no se alcanza a distinguir bien a consecuencia de que se dieron estas categorías que son Cárcavas y Área sin vegetación aparente.

En el cuadro 9 se muestran ya las dos formas de los orígenes de usos de suelo con su respectivo año, esto con la finalidad de apreciar cuál es el uso predominante y su evolución con respecto al otro y determinar las posibles causas de esta situación, por lo que el cuadro 9 y la figura 27 se complementan.

Cuadro 9. Usos de suelo vs. Cobertura vegetal

Año / Uso (ha)	Cobertura Vegetal	Usos de suelo
1984	14364.0	20498.6
2000	14438.1	20440.3
2008	14397.8	20480.1
Total	43199.9	61419

Fuente: Elaboración propia con base en datos del INEGI.

En la siguiente figura se aprecia de manera gráfica los datos establecidos en los cuadros anteriores correspondientes a cada categoría y el período de tiempo establecido.

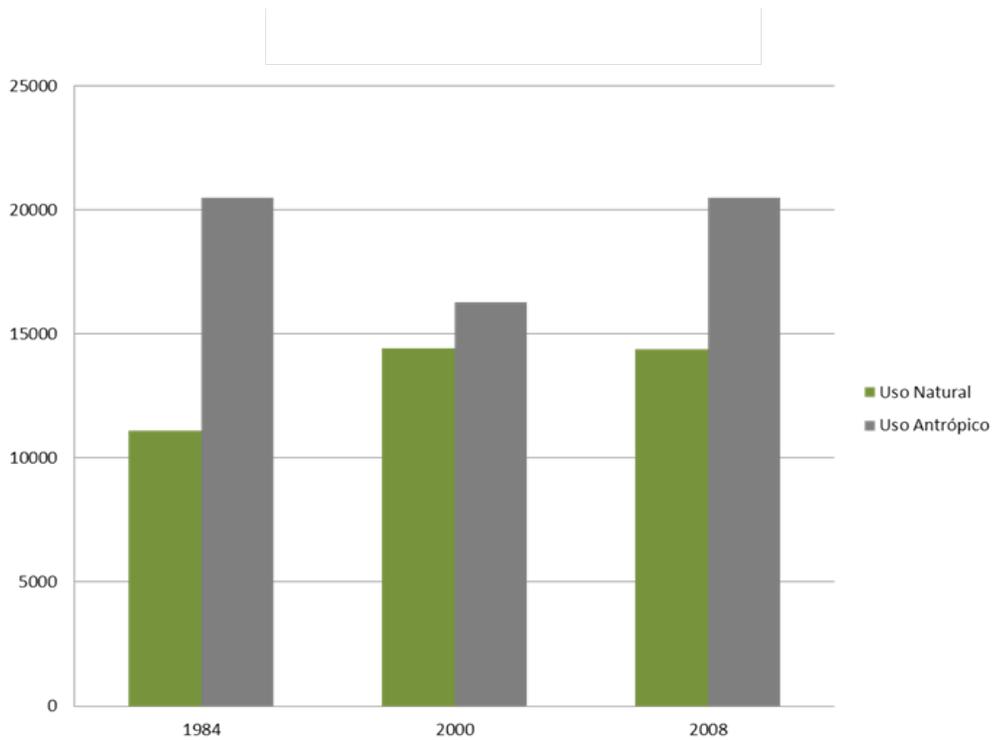


Figura 28. Vegetación y usos de suelo en la cuenca del río Tenancingo.

Fuente: Elaboración propia con base a INEGI

Aplicando la fórmula para el cálculo de las tasas de aumento y decremento, se tiene que en lo que corresponde a la cobertura vegetal durante los años de 1984 al 2000 la tasa de aumento

fue de 5.2% anual, mientras que del año 2000 al 2008 la tasa fue decreciendo en un mínimo de 0.03%, es decir, se mantuvo casi igual. En total, del año 1984 al 2008 se perdieron 33.8 hectáreas.

Por su lado, al hablar de los usos de suelo derivados de las actividades antrópicas se tiene que del período de 1984 al 2000 la tasa de decremento fue de 1.2% anual, mientras que del año 2000 al 2008 la tasa de crecimiento fue de 3.2% anual. En total, del año 1984 al 2008 se ganaron 40 hectáreas.

Con los datos ya recopilados y establecidos en este apartado se llevaron a cabo las conclusiones de este proyecto de investigación y se presentan a continuación.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación contribuye a mejorar la comprensión de la dinámica de cambio de cobertura y usos de suelo en la cuenca del río Tenancingo, lo cual puede ayudar a la elaboración de otros estudios como por ejemplo proyecciones de cambios y usos de suelo y de esta manera establecer escenarios a corto, mediano o largo plazo para predecir y analizar las tendencias de comportamiento del fenómeno y sus implicaciones, también favorecen la elaboración de herramientas y políticas ambientales como son el ordenamiento territorial y el ordenamiento ecológico, por mencionar algunos.

Por otro lado, la hipótesis se acepta ya que se comprobó que en la cuenca del río Tenancingo los cambios de uso de suelo son resultado de las conversiones de superficie boscosa en áreas destinadas a asentamientos humanos y a la agricultura de riego y riego eventual. En cuanto al objetivo principal se cumplió en su totalidad ya que con las técnicas de análisis empleadas se determinaron los cambios de uso de suelo y vegetación en 1984, 2000 y 2008.

En el documento se reportan tres análisis. El primero permitió conocer y reportar el comportamiento de cada categoría de usos de suelo y vegetación, para saber si aumentan o disminuyen en superficie. El segundo análisis permitió analizar la dinámica de cada categoría concluyendo que hay categorías que aumentan a costa de la disminución de otras, y por último el tercer análisis consistió en dividir las categorías en dos grupos para saber cuál de ellas es la predominante, si los usos de suelo destinados a actividades económicas primarias y asentamientos urbanos o la cobertura vegetal natural existente.

Los resultados muestran que los usos predominantes del suelo corresponden, en su mayoría, a las actividades humanas como son los asentamientos humanos y la agricultura superando en extensión a la vegetación natural. Por ejemplo, en el último periodo estudiado (2008) y en términos porcentuales se tiene que los usos de suelo representan un 58.6 % de la superficie de la cuenca, mientras que la cobertura vegetal tiene un 41.2%.

Dentro de los usos de suelo sobresale la agricultura de temporal que fue la actividad económica predominante dentro de la cuenca. Sin embargo, ha disminuido en los tres periodos estudiados un 11.12%, lo que equivale a 1470 hectáreas, las cuáles han sido ocupadas principalmente por los asentamientos humanos y agricultura de riego-riego eventual.

Cabe mencionar que la tecnología empleada en la agricultura de riego es avanzada, y por ello requiere técnicas especiales y de producción masiva como son los invernaderos, sistemas de riego, control de plagas y enfermedades. Todo ello les favorece a los productores el poder controlar factores del clima (temperatura y agua) así como el volumen de su producto estando también en condiciones para producir ciertas especies y nuevas variedades.

En la cuenca la agricultura de riego ha tenido un importante avance en superficie favorecida en parte por las políticas gubernamentales y también por su rentabilidad económica. Se trata principalmente del cultivo de la flor muy extendido en esta región del estado de México. Un aspecto negativo de este tipo de agricultura, es el empleo intensivo de productos agroquímicos, debido a la cantidad de plagas que conlleva este tipo de actividad. Derivado de ello ya se presentan problemas de disminución de la productividad del suelo, contaminación del suelo y agua, entre otros. (Ver Anexo Fotográfico).

Con lo que respecta a la vegetación natural, algunos de los bosques templados (pino y pino-encino) han presentado un aumento de no más del 5% lo cual puede ser resultado de procesos naturales (recuperación natural de los bosques) o por actividades de reforestación, mientras que los bosques restantes y las selvas en la parte sur han disminuido significativamente en los tres periodos de tiempo establecidos.

Dado que a la fecha continúan presentándose cambios de uso y vegetación natural en la zona de estudio, se concluye que de continuar con esta tendencia, los problemas ambientales se pueden ir agravando. Por ejemplo, al disminuir la cobertura natural se puede desencadenar una serie problemas ambientales como son: erosión de suelos, incrementos de escurrimientos

superficiales, abatimiento de mantos acuíferos, pérdida del hábitat, entre otros. Por lo que se requiere implementar políticas y estrategias ambientales dentro de los cinco municipios que conforman la cuenca hidrográfica.

ANEXO FOTOGRÁFICO



Bosque de pino y encino – Agricultura de temporal.

Localización: Norte de la cuenca

Municipio: Tenango del Valle



Agricultura de temporal.

Localización: Norte de la cuenca

Municipio: Tenango del Valle



Bosque de pino y encino – asentamientos humanos.

Localización: Centro de la cuenca

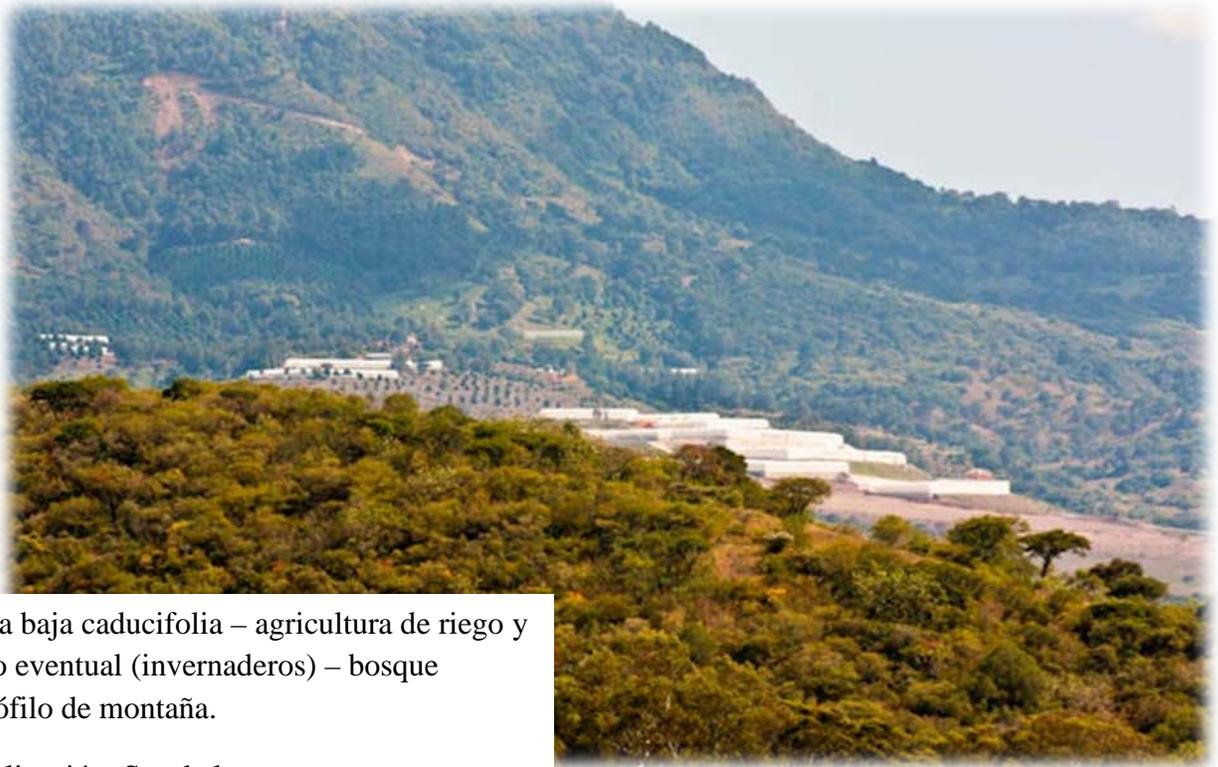
Municipio: Tenancingo



Agricultura de riego y riego eventual

Localización: centro de la cuenca

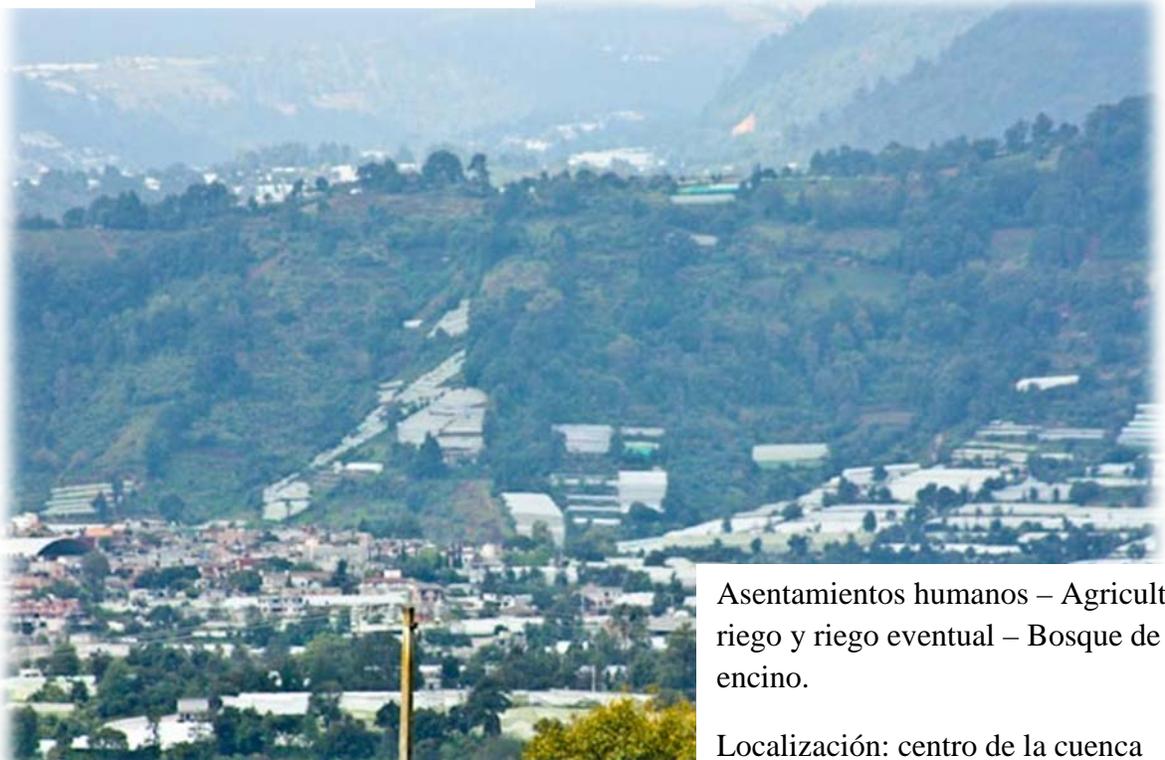
Municipio: Tenancingo



Selva baja caducifolia – agricultura de riego y riego eventual (invernaderos) – bosque mesófilo de montaña.

Localización: Sur de la cuenca

Municipio: Tenancingo



Asentamientos humanos – Agricultura de riego y riego eventual – Bosque de pino y encino.

Localización: centro de la cuenca

Municipio: Tenancingo



Agricultura de riego y riego eventual.

Localización: este de la cuenca

Municipio: Tenancingo



Agricultura de riego y riego eventual

Localización: sur de la cuenca

Municipio: Zumpahuacán

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

Cassanova P., Manuel. 1990: *Recursos Naturales Renovables*. Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Siglo XXI Editores.

Cepeda Dovala, Juan Manuel. 1991: *Química de Suelos*. México DF: Editorial Trillas.

Díez Pérez, José Armando. 1993: *Introducción a la percepción remota*. Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México.

Eastman, Ronald J. 2006: *Guía para SIG y procesamiento de imágenes, IDRISI Andes*. Clark University. Clark Labs.

Fassbender, Hans W. y Bornemiza, Elnor. 1897: *Química de Suelos con énfasis en América Latina*. Gotinga, República Federal de Alemania y San José Costa Rica: Editorial IICA.

Jaramillo, Francisco. 2002: *Introducción a la Ciencia del suelo*. Medellín. Biblioteca Digital: Repositorio Institucional: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/>

Narro Farías, Eduardo, 1994: *Física de los Suelos con enfoque agrícola*. México DF. Editorial Trillas.

Vásquez, M.V. 2004: *Integral Analysis of the process of electro – remediation of Andisols Polluted by heavy metals*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquilla.

Revistas:

Bocco, Gerardo. Mendoza, Manuel y Masera, Omar. 2001: “La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán, una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación (parte 1)”. *En Revista: Investigaciones Geográficas*. Núm. 044. México DF. Universidad Nacional Autónoma de

México: http://www.oikos.unam.mx/Bioenergia/images/PDF/CC/CC-Bosques/la_dinamica_del_cambio_del_uso_del_suelo.pdf

Bolaños Gonzáles, José Iván. 2002: “Usos de suelo y capacidad de carga territorial: el caso de la Caldera del Rey (Tenerife, Islas Canarias)”. *En Revista: Papeles de Geografía*. Núm. 036. Pp. 5 – 25. España. Universidad de Murcia: <http://revistas.um.es/geografia/article/view/46451/140931>

Díaz Manso, José Marcial. Aller González, Dominique. Martín Rosón, Amparo. Barcia Noia, Berta y Pereira Paulo, Susana. 2007: “Dos perspectivas sobre la cartografía de coberturas y usos del suelo en Galicia”. *En Revista: Revista Galega de Economía*. Núm. 001. Vol. 16. España. Universidad de Santiago de Compostela: http://www.usc.es/econo/RGE/Vol16_1/Castelan/art4c.pdf

Velásquez, A. Mas, J.F. Gallegos Díaz, J.R. y Palacios, J.L. 2002: “Patrones y tasas de cambio de uso de suelo en México”. *En Revista del Instituto de Geografía, UNAM*. Núm. 62. México DF. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/357.pdf>

Velázquez, Alejandro. Durán, Elvira. Francois, Jean. Bray, David y Bocco, Gerardo. 2002: “Situación actual y perspectiva del cambio de la cubierta vegetal y usos de suelo en México”. *Revista digital: REDALYC*. CONAPO: <http://www.ciga.unam.mx/investigadores/zacatucho/PDF/613Capitulos%20en%20Libros/6131Nacionales/6131-30.pdf>

Vidal Año, Carlos. Sánchez Díaz, Juan, Tomás Antollín, Carmen y Goberna Estellés, Marta. 2002: “Capacidad y vulnerabilidad de los suelos de la comunidad valenciana”. *En Revista: Investigaciones Geográficas*. Núm. 028, pp. 105 – 123. España. Universidad de Alicante. <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/340/1/A%C3%B1o%20Vidal-Capacidad%20y%20vulnerabilidad.pdf>

Libro de autor institucional:

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. 1917, Actualizada con las reformas a los artículos 71, 72 y 78, en 2011. Publicada en el Diario Oficial de la Federación.

Gobierno del Estado de México. 2005. *Código para la Biodiversidad del Estado de México*. Toluca de Lerdo, México.

Gobierno del Estado de México. 2000. *Plan Municipal de Desarrollo Urbano, Tenancingo, Estado de México*.

Gobierno del Estado de México, 1998: *Programa de Ordenamiento Ecológico del territorio del Estado de México*, Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas.

H. Ayuntamiento Constitucional de Tenancingo 2006 – 2009. *Reglamento Municipal de Ecología y Limpia*. Tenancingo, Edo. de México.

INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 1999. *Anuario Estadístico del Estado de México*.

INEGI Instituto Nacional de Estadística, 1999: *Geografía e Informática y Gobierno del Estado de México*, México.

Ley General Para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. 1988, Reformada en Enero del 2011, Publicada en el Diario Oficial de la Federación.

Internet:

García, Fernando. Clérici, Carlos y Hill, Mariana.

2011. <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Curso%202011/Teoricos/eros11.pdf>

Luege Tamargo, José Luis. 2005. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/