



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**  
**UNIDAD IZTAPALAPA**

División de Ciencias Sociales y Humanidades  
Licenciatura en Geografía Humana

***ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA FORESTAL  
DE LA ZONA CENTRAL DEL BOSQUE DE AGUA  
(CUENCAS LERMA –MOCTEZUMA)***

Investigación terminal para obtener el grado de Licenciada en Geografía Humana  
que presenta:

**Fabiola Franco Durán**

Director:

**Dr. Rafael Calderón Contreras**

Lectora:

**Mta. Laura Elisa Quiroz Rosas**

Ciudad de México, Diciembre de 2020

Ciudad de México a 20 de noviembre de 2020

**Dr. Pere Sunyer Martín**  
**Coordinador de la Licenciatura**  
**en Geografía Humana**  
**Presente:**

Por medio de la presente, hago constar que he revisado nuevamente el trabajo terminal de la alumna **Fabiola Franco Durán** titulado: *"Análisis espacial de los cambios de cobertura forestal de la zona central del bosque de agua (Cuencas Lerma -Moctezuma)"*, el cual fue desarrollado para obtener el grado de Licenciado en Geografía Humana por parte de la unidad Iztapalapa.

Dicho trabajo atendió los comentarios que se realizaron con anterioridad tanto de fondo como de forma, por lo que considero que cumple con los requisitos teóricos y metodológicos para ser aprobado como proyecto terminal.

En mi opinión la alumna Fabiola Franco en coordinación con su asesor de trabajo terminal, realizarán un trabajo en donde integran temas actuales y de especial importancia para su desarrollo profesional.

Sin más por el momento les envío un cordial saludo y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

**ATENTAMENTE**

Sin otro particular, quedo de Usted.



**Mta. Laura Elisa Quiroz Rosas**  
**Laboratorio de Análisis Socio Territorial**  
Departamento de Ciencias Sociales  
División de Ciencias Sociales y Humanidades  
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa

## *Agradecimientos:*

Quiero agradecer a todos y a cada uno de las personas involucradas para la realización de este trabajo terminal de la licenciatura; gracias infinitas por todo el apoyo brindado para que esta etapa haya sido alcanzada y continuar en este camino con nuevas metas por realizar.

A mis padres Daniel y Rosalba † por su amor, dedicación y apoyo incondicional; su gran ejemplo y enseñanzas que me han formado e impulsado a seguir adelante, siempre han estado conmigo en todo momento en cada etapa de mi vida, les agradezco por todo lo que me han brindado.

A mis hermanos Daniela y Josué, siempre mis consejeros, cómplices y estar a mi lado con su apoyo, su amor y cariño, los quiero con todo el alma.

Al Dr. José López García a quien estimo, le agradezco por su confianza en aceptarme en su equipo de trabajo dentro del Instituto de Geografía para ser posible la realización de esta investigación terminal de tesis del proyecto *Evaluación de los cambios de cobertura forestal en Áreas Naturales Protegidas*. Así como la UNAM, disfruté mucho en estar de compañía con otros colegas de la carrera de geografía.

A todos mis profesores de la Licenciatura, gracias por sus enseñanzas transmitidas mediante sus conocimientos para formarnos de manera profesional como Geógrafos, en particular me han dado la visión de un cambio para ampliar mis conocimientos en varios ámbitos. Los admiro profundamente.

A mi asesor de tesis, al Dr. Rafael Calderón a quien estimo por su dedicación, apoyo, tiempo y paciencia para realizar mi trabajo de investigación. Gracias por sus conocimientos y consejos, y darme la oportunidad de ser mi asesor, le agradezco mucho.

A mi lectora de tesis, a la Mta. Laura Elisa Quiroz quien realizó mis correcciones y dedicó su tiempo para aprobar este trabajo terminal y haya sido posible en concluir la licenciatura.

Así mismo, al Dr. Pere Sunyer por estar pendiente de enviarme mi trabajo de investigación, que a pesar de la dificultad de este año me guió y aconsejó durante el proceso de éste trimestre en confinamiento.

Por último, pero no menos importante, a mis amigos y compañeros de licenciatura que son parte importante de mis enseñanzas en esta etapa de la vida, siguen siendo personas quienes aprecio, y me han brindado su apoyo y amistad. Así como, mis amigos de la escuela en etapas anteriores, que aún los sigo frecuentando, les tengo un enorme afecto y cariño.

A la UAM, por ser una excelente Universidad y formar parte de su matrícula. Ser estudiante ha sido la mejor etapa de mi vida, por ofrecerme educación y conocimientos, y contar con un buen nivel académico; va ser siempre entrañable haber sido parte de ésta gran Universidad.

GRACIAS





# CONTENIDO

CAPÍTULO 1 .....	1
1.2. ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.3. ANTECEDENTES.....	5
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	6
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	8
1.6. HIPOTESIS Y OBJETIVOS .....	9
CAPÍTULO 2 .....	11
2.1.1. REGIÓN BOSQUE DE AGUA .....	16
2.2. APROXIMACION TEÓRICA DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y COBERTURA FORESTAL DESDE LA GEOGRAFIA .....	20
2.2.1. APORTACIONES Y MODELOS DE ESTUDIO DEL .....	25
CAMBIO DE USO DE SUELO.....	25
CAPÍTULO 3 .....	29
3.2. FACTORES DE CAMBIO DEL USO DE SUELO .....	33
3.3. DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y DE LA COBERTURA FORESTAL	37
3.3.1. CAUSANTES DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO Y DE COBERTURA FORESTAL .....	43
3.4. PRINCIPALES PROCESOS DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL EN LA REGIÓN BOSQUE DE AGUA.....	47
3.5. CAMBIO DEL USO DE SUELO EN LA REGION BOSQUE DE AGUA .....	51
3.6. DEFORESTACIÓN .....	54
3.6.1. REVISION DE LA DEFORESTACION EN MEXICO .....	59
3.7. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO REGIÓN BOSQUE DE AGUA.....	67
3.7.1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	74
3.7.2. DELIMITACION DE LA REGION DEL BOSQUE DE AGUA .....	76
3.8. CARACTERIZACION DEL BOSQUE DE AGUA.....	79

3.8.1. TOPOGRAFIA, GEOLOGIA Y EDAFOLOGIA.....	81
3.8.2. FISIOGRAFÍA .....	84
3.8.3. CLIMA.....	85
3.8.4. TIPO DE USO DE SUELO Y VEGETACION.....	85
3.8.5. ASPECTOS DEMOGRAFICOS Y DE POBLACIÓN .....	88
CAPÍTULO 4. ....	90
4.1. DISEÑO DE INVESTIGACION .....	92
4.1.1. ELECCION DEL AREA DE ESTUDIO Y RECOPIACION DE INFORMACION.....	94
4.1.2. RECOLECCION Y PREPARACION DEL MATERIAL DIGITAL .....	95
4.1.3. CLASIFICACION DE LA DENSIDAD DE LAS COBERTURAS FORESTALES.....	96
4.1.4. INTERPRETACION VISUAL DEL AREA FORESTAL.....	100
4.1.5. IDENTIFICACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA FORESTAL DE LOS AÑOS 1994 Y 2015 .....	101
4.1.6. ANÁLISIS COMPARATIVO Y OBTENCIÓN DE LA MATRIZ DE CAMBIO ...	103
4.2. MATRIZ DE CAMBIOS PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS .....	105
CAPÍTULO 5 .....	107
5.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÁREA DE ESTUDIO BOSQUE DE AGUA.....	107
5.2. ANÁLISIS DE CAMBIOS DEL PERIODO 1994-2015 .....	108
CAPITULO 6 .....	119
CAPÍTULO 7 .....	120
7.1. CONCLUSIONES TEÓRICAS.....	120
7.2. APORTACIONES EMPÍRICAS.....	122
7.3. FUTURAS INVESTIGACIONES .....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	125

# ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS

FIGURA 2.1. VEGETACIÓN POTENCIAL A NIVEL NACIONAL .....	14
FIGURA 2.2. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DE LA REGIÓN BOSQUE DE AGUA 1993 .....	18
FIGURA 2.3. USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DE LA REGIÓN BOSQUE DE AGUA 2014.....	19
FIGURA 3.1. DINÁMICAS DE LOS CAMBIOS DEL BOSQUE .....	42
FIGURA 3.2. USO DE SUELO Y VEGETACION DE LA ZONA METROPOLITANA DE MÉXICO .....	46
CUADRO 3.1. PÉRDIDA USO DE SUELO Y VEGETACIÓN CUADRO .....	62
FIGURA 3.3. DEFORESTACION DE LA REGIÓN BOSQUE DE AGUA . .....	66
CUADRO 3.2. ZONAS DE CONSERVACION DEL BOSQUE DE AGUA .....	70
FIGURA 3.4. AREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL BOSQUE DE AGUA.....	72
FIGURA 3.5. ZONIFICACIÓN DE LA REGIÓN BOSQUE DE AGUA.....	74
FIGURA 3.6. LOCALIZACIÓN REGIÓN CENTRO DEL BOSQUE DE AGUA. ....	75
FIGURA 3.7. POLIGONO DEL AREA DE ESTUDIO.....	77
FIGURA 3.8. INDICE DE CARTA TOPOGRÁFICAS.....	78
FIGURA 3.9. LOCALIZACIÓN DEL BOSQUE DE AGUA.....	80
FIGURA 3.10. TIPOS DE SUELOS ZONA CENTRAL BOSQUE DE AGUA).....	82
CUADRO 3.3. TIPOS DE SUELOS ZONA CENTRAL BOSQUE DE AGUA.....	83
FIGURA 3.12. COBERTURA FORESTAL EN LA REGIÓN CENTRO DEL BOSQUE DE AGUA. ....	87
CUADRO 4.1. CATEGORÍAS DE DENSIDAD DE COBERTURA FORESTAL .....	97
FIGURA 4.1. CLASIFICACION DE COBERTURA FORESTAL. ....	98
CUADRO 4.2. COBERTURAS NO FORESTALES. ....	99
FIGURA 4.2. MOSAICO DE ORTOFOTOS.....	102

FIGURA 4.3. DIGITALIZACIÓN DE COBERTURAS FORESTALES .....	103
FIGURA 4.4. UNIÓN DE COBERTURAS 2015 Y 1994.....	104
CUADRO 4.3. MATRIZ DE CAMBIOS.....	105
CUADRO 4.4. PROCESOS DE CAMBIO FORESTAL.....	106
CUADRO 5.1. CUANTIFICACIÓN DE LOS CAMBIOS DE CUBIERTA FORESTAL DEL BOSQUE DE AGUA. ....	108
CUADRO 5.2. MATRIZ DE CAMBIOS 1994 - 2015 EN EL BOSQUE DE AGUA .....	109
GRÁFICA 5.1. CAMBIOS DE COBERTURAS DEL BOSQUE DE AGUA 1994-2015 ....	110
FIGURA 5.1. PORCENTAJE DE COBERTURA FORESTAL PERIODO 1994-2015 .....	112
FIGURA 5.2. TIPOS DE COBERTURA FORESTAL DEL AÑO 1994. ....	113
FIGURA 5.3. TIPOS DE COBERTURA FORESTAL DEL AÑO 2015. ....	114
FIGURA 5.4. PÉRDIDAS Y GANANCIAS DEL AREA DE ESTUDIO CAMBIOS DE COBERTURA FORESTAL DEL PERIODO 1994-2015.....	115
TABLA 5.1. PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE COBERTURA FORESTAL.....	117
CUADRO 5.3. CÁLCULO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE COBERTURA FORESTAL. ....	118

# CAPÍTULO 1

Los bosques bajo la ordenación sostenible contribuyen a muchas funciones ambientales y socioeconómicas importantes a nivel mundial, nacional y local; así como desempeñan un papel fundamental en el desarrollo sostenible. El disponer información fiable y actualizada sobre la situación de los forestales con respecto a los productos forestales maderables y no maderables, el carbono, las áreas protegidas, el uso recreativo u otros usos de los bosques, la diversidad biológica y la contribución de los bosques a las economías nacionales, es esencial para la toma de decisiones en el ámbito de programas forestales, y a todos los niveles del desarrollo sostenible (CONAFOR, 2012).

En las últimas décadas la transformación negativa de cambio de uso del suelo y vegetación ha sido abordado como el segundo problema ambiental a nivel global, ya que tiene afectaciones en el capital natural, la estabilidad microclimática, la dotación de servicios ambientales y en el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmosfera, además de limitar a nivel local las posibilidades de realizar un manejo sustentable del territorio y sus recursos naturales (FAO y GTIS, 2105). Debido a estos procesos de transformación, los ecosistemas naturales han padecido un acelerado cambio a nivel mundial, las causas transformadoras de los ecosistemas se relacionan con la conversión de la cobertura del terreno y la degradación e intensificación del uso del suelo (Ruiz et al., 2013) para obtener bienes y servicios para las personas, sin embargo, esto conlleva un costo alto a nivel ambiental. México por su parte, alberga una mega-diversidad biológica que constituye una preferencia y un potencial para el desarrollo del país que implica una responsabilidad de nuestra sociedad para conservarla, de ahí la importancia de conocer certeramente el estado de sus ecosistemas y los factores que pudieran influenciar su integridad.

El contexto que se presenta la posición geográfica del territorio mexicano, su complejo del sistema montañoso, historia natural y variedad climática, se conforma un mosaico de condiciones ambientales y gran variedad de formas de vida, lo que se conoce como biodiversidad (Sarukhán, Soberón y Larson-Guerra, 1996). Esta riqueza no se distribuye de manera uniforme; entre las zonas de montaña con mayor biodiversidad sobresale la Faja Volcánica Transmexicana, que atraviesa el territorio de costa a costa, desde Nayarit hasta Veracruz. Esta formación montañosa se encuentra en donde convergen dos regiones biogeográficas: la Neartica y la Neotropical. Dicha ubicación determina la gran diversidad biológica que caracteriza a esta región montañosa donde se encuentra la cuenca de México (Rosique-Méndez, 2016).

En este sentido, México es un país plural y diverso en muchos aspectos, en especial destaca el ámbito ecológico y el cultural. Sin embargo, su manejo y conservación son muy complicadas dado que se ha visto a lo largo de la historia ambiental, en el ámbito de las políticas públicas, por lo general se ha procedido como su tal diversidad se encuentra desapercibida (Sarukhán et al., 2009).

Una de las evidencias que prueba lo anterior es el cambio de uso de suelo y vegetación de manera drástica. En México se incrementaron estos procesos a partir de la segunda mitad del siglo XX; para el año 1976 la cobertura vegetal original del país se había reducido en un 38%; hacia 1993 sólo cubría el 54%, y para el año 2002 ocupaba únicamente el 50% de la superficie original (Cuevas et al., 2010). Para explicar la situación de nuestro país, se ha observado que dentro de casi dos millones de kilómetros cuadrados de superficie se manifiesta una gran cantidad de cambios que en general, están por arriba de la media mundial en cuanto a tasas de deforestación (155 mil hectáreas por año; SEMARNAT, 2015), debido al incremento de áreas de cultivo y pastoreo, la expansión urbana muchas otras actividades antrópicas documentados (Mas et al., 2009).

A nivel mundial, se han implementado estrategias para mitigar y prevenir los efectos derivados de amenazas por el cambio en el uso de suelo, así como la deforestación que se fundamenta en el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP) (Sahagún-Sánchez, & Reyes-Hernández, 2018). De esta manera, las ANP representan un instrumento de política pública para enfrentar las tendencias de cambio y transformación de los ecosistemas, además que permite la conservación de los recursos. En el caso de México las ANP constituyen uno de los instrumentos de política pública ambiental mejor definidos y con mayor certeza jurídica (CONANP, 2007). Sin embargo, a pesar al carácter legal de las ANP, éstas no se encuentran exentas de las presiones de cambio de uso de suelo, extensión de la frontera agropecuaria, demanda de espacios para desarrollos urbanos, apertura de nuevas vías de comunicación e infraestructura hidráulica (Sahagún-Sánchez, & Reyes-Hernández, 2018).

La conservación de la integridad ecológica de estas regiones representa un reto importante en la toma de decisiones ambientales para su manejo, y difícilmente se logra debido a la vulnerabilidad a presiones naturales y antrópicas que afectan su función. Los procesos como el acelerado crecimiento urbano, los ilícitos cambios ambientales relacionados al uso de suelo, la extracción ilegal y la desordenada de recursos naturales han ejercido fuertes presiones ambientales sobre las características de su capital natural (Cedillo et al., 2007:2). En específico la Sierra de Guadalupe (SG), ubicado entre la CDMX y el Estado de México, constituye un reducto natural cuyo territorio presenta diversas categorías de protección, pero no ha sido exento de tener modificaciones en el suelo y en la vegetación. Dicho escenario se refleja en los múltiples impactos socio-económico-ambientales generados y reportados que se deriva principalmente en la degradación del suelo, dado que se ha presentado un crecimiento desordenado de la mancha urbana. Ante tal necesidad, es de utilidad estudiar en una escala multi-temporal tanto la

cobertura vegetal, como el uso de suelo calculando la tasa de cambio, que consiste en el estudio de la dinámica espacio-temporal de las distintas coberturas de suelo. Por este medio, se puede inferir algunos de los procesos antrópicos más notorios sobre la superficie terrestre (Loya-Carrillo et al., 2003).

En este sentido la teledetección o percepción remota ha resultado de gran utilidad en el monitoreo de la superficie terrestre, ya que permite la detección, mapeo, compresión y reconocimiento de la alteración de las condiciones en el paisaje a través del tiempo. Así mismo, provee imágenes de diferentes escalas sobre amplias áreas y el acceso a registros históricos (desde la década de los 70's) (del Castillo et al., 2015). Estas técnicas pueden ser utilizadas para detectar variaciones de la superficie de la Tierra de las características de la cobertura terrestre que se ve modificada por fenómenos naturales o antrópicos con el objeto de contribuir a la caracterización del territorio, identificando tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad, así como la identificación de áreas de atención prioritarias a la conservación (Gómez et al., 2013). Lo anterior permite la formulación de planes de acción para el manejo de los recursos y establecer políticas preventivas o correctivas (Berlanga et al., 2010).

## 1.2. ESTRUCTURA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo está estructurado de la siguiente manera:

- 1) El primer capítulo aborda la inducción del tema de investigación corresponde al interés a los Bosques de la región central de México. En este apartado se presenta la introducción y el planteamiento del tema, que expone la descripción del contenido, así como de los antecedentes fundamentales del trabajo de investigación, la problemática, la justificación y de los objetivos del tema de investigación. Abordando el tema de interés de esta investigación que es el Bosque de Agua, enfocado en la vegetación forestal de la región analizando los cambios de estos recursos naturales.
- 2) En el segundo capítulo se desarrolla el marco analítico, donde se aborda la información teórica orientada al tema con enfoque al análisis geográfico del concepto de cambio de uso de suelo y cobertura forestal, analizando sus factores, las aportaciones teóricas-metodológicas dentro del campo de la geografía y dinámicas territoriales del mismo.
- 3) El tercer capítulo se analiza la problemática del cambio de cobertura forestal a través de los procesos de cambio de uso de suelo dentro del área de estudio. De igual manera, se aborda el proceso de deforestación de cobertura forestal dentro de la región de Bosque de Agua. En esta sección se aborda los distintos fenómenos que afectan la degradación y la deforestación del bosque en base a distintos estudios realizados con enfoque geográfico. También se aborda la caracterización del área de estudio para el tema de investigación. Se realiza una descripción general de la Región de Bosque de Agua, además de su localización y delimitación de la zona y de la importancia de esta bioregión para la zona central del Valle de México. Así como, se menciona sus características físicas, naturales y geográficas de la zona de estudio de interés.
- 4) El cuarto capítulo se aborda el método empleado para el análisis de la cobertura forestal. Dentro del área de estudio se realizó un análisis de cambios en la cobertura forestal, utilizando imágenes satelitales mediante técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica con interpretación visual de las imágenes mediante una comparación visual.
- 5) El quinto capítulo contiene los resultados obtenidos de la investigación, en relación del análisis temporal del cambio de cobertura forestal del Bosque de Agua, y su discusión de los posibles factores de cambio de cobertura forestal en la zona con la finalidad de detectar y conocer la perturbación y la ganancia forestal dentro del área de estudio.
- 6) Por último, en el séptimo capítulo se presentan reflexiones finales presentando las conclusiones y la discusión del trabajo de investigación. Con base en ello, es importante obtener los resultados de los recursos forestales y en el estado que se encuentran, lo cual constituye una aportación al conocimiento, uso sostenible y orientar al desarrollo sostenible de la conservación de la región Bosque de Agua.



### 1.3. ANTECEDENTES

Las zonas con vegetación natural son parte fundamental de los ecosistemas para la importancia de los elementos del medio ambiente en la evolución y del sostenimiento de la vida sobre la superficie terrestre (SEMARNAT, 2018). Sin embargo, las actividades y prácticas humanas, así como la creciente demanda por bienes como alimento, vivienda, agua potable y servicios ambientales generan sucesivamente, y en amplias escalas geográficas, una presión sobre los recursos naturales con grandes impactos, la mayoría de ellos negativos, sobre la estructura, funcionamiento y distribución de los mismos (Challenger y Dirzo et al., 2009; Vitousek et al., 1997).

En este sentido, durante los últimos 30 años, los impactos de las actividades humanas sobre la vegetación natural y el ambiente con sus múltiples consecuencias ecológicas, sociales y económicas ha sido un tema central en el ámbito político y académico. En el caso de la academia, el creciente interés por las interrelaciones hombre-naturaleza se manifiesta a partir del *Informe Brundtland en 1987*, en donde se busca encontrar la manera de mantener el equilibrio dentro de los ensambles socio-ambientales que permiten la subsistencia del ser humano a partir del concepto de desarrollo sustentable. Para lo cual, se ha llevado a cabo una identificación, documentación y evaluación de los cambios ambientales, así como de sus causas, a partir de una amplia gama de disciplinas, como la sociología, la geografía humana y las ciencias políticas, entre otras (Brenner, 2010).

Como resultado de lo anterior encontramos que actividades antropogénicas como la industrialización, la deforestación y el cambio de uso de suelo, han mermado el equilibrio ecológico y se han presentado diversas problemáticas ambientales como el cambio climático, el incremento en intensidad de algunos fenómenos meteorológicos extremos, pérdida de áreas forestales e incremento de la contaminación lo que afecta radicalmente la salud de los seres vivos, repercutiendo de esta manera en la disminución y extinción de flora y fauna (Carabias, 1988).

Adicional a ello los bosques son uno de los ecosistemas fundamentales por su producción maderable y no maderable y en relación a la estructura sostenible, cumplen con muchas funciones socioeconómicas y ambientales importantes a nivel mundial, nacional y local (FRA, 2010).

Por ello analizaremos la transformación y modificación del bosque en distintos periodos que van de los años 1994 al 2015. Con la finalidad de conocer, a partir del análisis espacial, el cambio de uso de suelo y vegetación. Ya que contar con información fiable y actualizada sobre la situación de los recursos forestales es esencial para la toma de decisiones en el ámbito de las políticas y los programas forestales, así como para todos los niveles del desarrollo sostenible.

## 1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El deterioro de la cobertura forestal se ha visto incrementado en las últimas décadas a nivel mundial. Aunque dicha modificación es por causas naturales, varias de las afirmaciones en diversos discursos y planteamientos en distintos campos de investigación mencionan que la principal causa de la degradación de los bosques se da principalmente por las actividades humanas (Durán et al., 2007). Se ha calculado que hace 8000 años cerca 47% de la superficie de la Tierra estaba cubierta por bosques, de la cual se ha perdido aproximadamente el 40% de su superficie forestal original, y en la actualidad el bosque existente sufre diversos grados de fragmentación y degradación (MEA, 2005a).

Lo alarmante de ello es, debido a dichas modificaciones, se pierden diversos beneficios ambientales, como son la captura de agua para la recarga de los acuíferos, la conservación de la biodiversidad, la captura y mantenimiento de las reservas de carbono, el cambio climático y la sostenibilidad de comunidades urbanas y rurales (CONAFOR, 2011), ya que se ve alterado el equilibrio con el que cuenta el ecosistema en cuestión. Además de que se afecta en gran manera la biodiversidad de las zonas boscosas que se encuentra en la zona de estudio.

Estos impactos han sido generados desde inicios de la revolución industrial, y se han acentuado en las últimas décadas. La reciente degradación ambiental en general, relacionada al cambio ambiental, ha permitido el surgimiento de una nueva era geológica, que se caracteriza por los grandes impactos en las estructuras sobre el planeta que ocasiona una sola especie “el ser humano”. Esta nueva era geológica se la ha denominado “Antropoceno”. (Bai et al., 2015; Biermann et al., 2015; Heikkurinen, Rinkinen, Järvensivu, Wilén, & Ruuska, 2016; Veland & Lynch, 2016).

En esta nueva era se denotan los procesos negativos de cambio de uso del suelo y vegetación que se han documentado como el segundo problema ambiental a nivel global. Estudios recientes relacionan estos cambios a procesos en el cambio climático global (Rosete et al., 2014). Sin embargo, “la intervención humana ha alterado los ciclos biogeoquímicos con actividades productivas intensas como la ganadería, prácticas agrícolas o forestales inadecuadas que provocan la pérdida de productividad del suelo, originando problemas ecológicos. Estudios recientes demuestran que 64% de los suelos de México presentan problemas de degradación en diferentes niveles, que van de ligera a extrema. Sólo 26% del territorio nacional cuenta con suelos que mantienen sus actividades productivas sustentables sin degradación aparente” (CONAFOR, 2015).

Bajo este contexto el caso de estudio que se presenta en este trabajo es el de “*análisis del cambio de cobertura forestal de la zona central de la Sierra de las Cruces (SC)*”. Ubicada geográficamente entre tres zonas metropolitanas del Valle de México, Toluca y Cuernavaca, siendo esta región un importante ecosistema de Bosque de Agua, el cual ha presentado una importante presión urbana; Según estudios de SEMARNAT (2003) y del Colegio de México (Schteingart y Salazar, 2005), en los últimos 40 años la cobertura forestal de la zona Sur de la Ciudad de México (CDMX) y del Ajusco se ha reducido en 27 y 35%, respectivamente, mientras que la urbanización ha aumentado entre 240 y 400% (CONABIO y UAEM, 2004; SMAEM, 2010). Actualmente la vegetación en el bosque de agua es un mosaico de tipos de vegetación en el que destacan el bosque de pino (21%), el bosque de oyamel (14%), la agricultura de temporal (22%) y los pastizales naturales e inducidos (13%) (ECOBA, 2012).

Por ello, es necesario estimar los cambios de cobertura forestal de la región SC es necesario conocer cuál es el ritmo de deforestación en México, así como contar con estudios multitemporales que muestren los sitios, las superficies y el momento en el que se llevaron a cabo los cambios en el uso del suelo, originados a partir de diversas actividades humanas.

La realización de esta investigación en la estimación de *esos cambios de cobertura forestal y de uso de suelo* a partir del análisis espacial basado en la implementación de la teledetección y de los Sistemas de Información Geográfica. Para dicho análisis fue necesario el uso de imágenes de satélite para el monitoreo de la deforestación y la determinación del uso del suelo que “constituye en la actualidad un aporte fundamental, ya que permite acercar los resultados a la realidad, con mucha precisión y certeza, con base en un tratamiento adecuado de las imágenes satelitales” (López, 2009).

## 1.5. JUSTIFICACIÓN

Los estudios realizados en México para conocer los procesos de cambio de cobertura forestal y uso de suelo y vegetación han sido elaborados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a través del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) 2004-2009 a nivel nacional, siendo de carácter generalizada (Rosete, 2014). Sin embargo, pocos han sido los estudios que tengan un enfoque de análisis a nivel regional o local con análisis temporal de las causas que provocan el cambio en los procesos de cobertura forestal.

El conocimiento de los factores de los cambios de cobertura forestal en los bosques templados ha sido poco documentado. Por lo tanto, el papel que juega la geografía es importante, ya que se enfoca en las distintas dinámicas que se reflejan sobre el territorio, así como la temporalidad en que se efectuaron los distintos procesos de dichos cambios forestales a través de las actividades antrópicas. En la interpretación de la zona de estudio del Bosque de Agua en la Sierra de la Cruces es necesario tener un análisis de tipo cuantitativo y cualitativo, así como una revisión bibliográfica previa, para identificar las principales actividades antropocéntricas que generan algún tipo de presión sobre los distintos componentes biofísicos, y sentar las bases para que se generen recomendaciones de políticas públicas y mitigar los efectos secundarios que se desprenden de ello.

A partir de lo anterior, se propone la elaboración de esta investigación en base del análisis espacial que permitirá determinar la problemática socio-espacial de nuestra zona de estudio. Este método se realiza a partir del trabajo empírico, recopilando información que se modelará en sistemas de información geográfica, que permitan la construcción de distintos campos de conocimiento, permitiendo obtener un diagnóstico y proponer una solución en la investigación en la región de la Sierra de las Cruces.

Finalmente, el aporte metodológico de la investigación constituye un papel importante para la comprensión espacial y temporal, mediante la fotointerpretación de imágenes satelitales. Se evalúa la degradación forestal y el cambio de uso de suelo se distingue la comparación más precisa obteniendo el nivel de cambio de las coberturas forestales.

## 1.6. HIPOTESIS Y OBJETIVOS

### HIPÓTESIS

Durante los últimos 21 años (1994 - 2015) los cambios de cobertura forestal en el Bosque de agua se han llevado a cabo a partir de procesos antrópicos debido al crecimiento agrícola y urbano que conlleva al cambio de uso de suelo, degradado dicho ecosistema. Además del crecimiento de ciertas actividades económicas, ha generado un proceso de deforestación y degradación forestal, y en menor medida una revegetación y densificación de los bosques dentro de la región.

### OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

Con base a lo expuesto del tema de investigación, se plantean los siguientes objetivos:

#### OBJETIVO GENERAL

El principal objetivo del presente trabajo de investigación se centrará en el ecosistema de los bosques templados, en particular en la Sierra de las Cruces debido a la importancia de la región en la recarga del acuífero del Lerma-Cutzamala y el mantenimiento de las cuencas de captación de agua, de donde se abastecen las ciudades. (Chapela, 2012). A través del análisis de los procesos que han incidido en los cambios de cobertura forestal en la zona de estudio de la Sierra de la Cruces, durante el periodo que va de 1994 al 2015, con la finalidad de interpretar los procesos de transformación o alteración del bosque, así como determinar las posibles causas que lo han provocado.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la zona central de la Sierra de las Cruces los aspectos más relevantes de acuerdo a cambios de cobertura forestal y cambios en el uso de suelo, aplicando el análisis espacial con Sistemas de Información Geográfica.
- Clasificar y estandarizar la información territorial derivada de Estudios de evaluación de impacto social y ambiental del área de la Sierra de la Cruces.
- Determinar el deterioro ambiental de las zonas que se encuentren con un índice de degradación considerable debido a externalidades.
- Analizar la evolución del crecimiento urbano y de la población de las zonas metropolitanas cercanos a la zona de la Sierra de la Cruces.
- Comparar de forma temporal la cobertura forestal en grupos de imágenes satelitales de la región Sierra de las Cruces.

## CAPÍTULO 2

En este apartado se realizó una revisión bibliográfica, que tiene como finalidad desarrollar el marco teórico, la cual se fundamenta en la recopilación enfocada en el concepto de *cambio del uso de suelo*, así como las aportaciones teórico –metodológico dentro del enfoque geográfico debido al interés de los objetivos de esta investigación. Así mismo, el campo de la geografía se dedica en el análisis del territorio con tendencia a observar la realidad abordando los problemas derivados de la economía, la sociedad y el medio ambiente que afectan en la actualidad. Asumiendo que “los problemas se han hecho globales”, el abordaje de las cuestiones económico-ambientales ha tenido un interés científico en torno al concepto de sostenibilidad, está abierta prácticamente a todas las ciencias y, entre ellas, la geografía (Murray, 2005). Es por ello, que el cambio del uso del suelo se ha conformado como uno de los factores plenamente implicados en el cambio global, debido a las implicaciones con relación a la pérdida de hábitat, de diversidad biológica, servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas (Barrera, 2012).

En lo que respecta al análisis de casos de estudios nacionales, en términos generales son pocas las referencias que definen el cambio del uso de suelo, la deforestación y la degradación de los bosques dentro de sus contextos específicos, por ende, es complejo saber de qué manera medir y evaluar en el contexto de la deforestación. De este modo existen indicadores generales utilizados en las definiciones de degradación de bosques; por ejemplo: productividad, densidad de la biomasa, cobertura de copas, composición de especies, y estructura (Simula, 2009). Existe en la actualidad países que no han podido proveer estimaciones cuantitativas sobre el grado de deforestación y algunas de las definiciones son aproximaciones académicas y no oficiales; para fines de esta investigación es importante realizar el análisis del cambio de cobertura forestal en el área de estudio, en este capítulo se aborda los principales fundamentos teóricos que ayudan a plantear esta investigación.

Este capítulo se divide en 4 secciones, abordando la situación del tipo de vegetación forestal a nivel nacional, se expone los estudios y la investigación respecto al cambio de uso de suelo desde el ámbito de la geografía, la cobertura forestal y las aportaciones metodológicas de forma general, y se finaliza con la conclusión general del presente capítulo.

## 2.1. SUPERFICIE DE COBERTURA FORESTAL EN MÉXICO

Según el informe del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, de la superficie total del territorio nacional –que es de 194, 317, 118.10 ha- poco más de 138 millones de hectáreas 71%, está ocupado por vegetación forestal y el 29% restante corresponde a otros usos del suelo distinto al forestal, principalmente agrícola, pecuario, zonas urbanas, acuícolas, entre otros.

Al mismo tiempo, la superficie forestal se subdivide de acuerdo al tipo de formación vegetal existente, de la siguiente manera: los matorrales de zonas áridas cubren el 26%, siendo la vegetación más extensa del país. Le sigue en extensión los matorrales de zonas semiáridas con el 15% de superficie. Las selvas bajas y otras áreas forestales cubren el 12%, mientras que las selvas altas y medianas ocupan 10% de la superficie forestal. Los bosques de coníferas y latifoliadas, por su parte, ocupan el 9% de la superficie forestal, mientras que los bosques de latifoliadas y los de coníferas cubren 8 y 6 por ciento de esta superficie. Lo que respecta a los bosques mesófilos de montaña y los manglares, cada formación apenas cubren el 1% de la superficie forestal nacional. No obstante, estas formaciones de poca superficie, constituyen ecosistemas importantes desde el punto de vista de la biodiversidad y de la producción de biomasa que ameritan programas de conservación y de restauración específicos.

En este sentido, los bosques templados cubren en conjunto el 24% de la superficie forestal nacional y el 52% de la superficie arbolada. Sin embargo, los bosques mesófilos con los que registran de menos superficie, con apenas 1 por ciento en superficie forestal y 3 por ciento respecto a la superficie arbolada, mientras que los bosques de latifoliadas y los mixtos ocupan 8 y 9 %, y 17 y 20% respecto de la superficie forestal y arbolada. Los bosques de coníferas ocupan 6 y 12% de la superficie forestal y arbolada, respectivamente. Es importante resaltar que, de los casi 32 millones de hectáreas del bosque templado, 67% se encuentra caracterizado como vegetación primaria, quiere decir que la comunidad vegetal contiene, en su mayoría, las especies del ecosistema original. También es importante señalar, que los bosques mesófilos de montaña reporta una superficie total de 1.7 millones de ha. Sin embargo, el 50% se encuentra en condición de vegetación secundaria, poniendo de manifiesto la alta presión ejercida sobre este tipo de formación y de la necesidad de implementar acciones concretas en áreas de conservación y de restauración de estos ecosistemas.

De acuerdo con la información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009, contando como base la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Seria IV, escala 1: 250, 000 de INEGI (2007), la dinámica de cambio en la cubierta forestal demuestra no sólo la pérdida de superficie forestal a favor de otros usos de suelo, sino también el cambio en la estructura y composición de las masas forestales.



Dicho lo anterior, la superficie que ocupa cada tipo de formación vegetal y el grado de conservación, de acuerdo con la información cartográfica tomada de INEGI (2007). El análisis de conservación de la vegetación que indica que el 71% de la superficie forestal nacional mantiene vegetación primaria (98.2 millones de ha) y el 29% (40 millones de ha) presenta una condición de vegetación secundaria. En cuanto a los bosques templados, del total de superficie designada con vegetación primaria como secundaria, éstos presentan una distribución de 22 y 28%, respectivamente. Sin embargo, otras cifras en relación con la superficie forestal, el 66% aún mantiene la condición de vegetación primaria. Esto implica que cerca de 40% de los bosques templados son más bien abiertos, con menor densidad arbórea y con predominancia de especies latifoliados, mismas que se ven beneficiadas por los disturbios que originan la degradación del ecosistema.

Los bosques templados de coníferas, mixtos y de latifoliadas ocupan 23 por ciento de la superficie forestal nacional y el 49% de la superficie forestal arbolada. Hay que resaltar que, de los casi 32 millones de hectáreas de bosque templado, 67% se encuentra caracterizado como vegetación primaria, es decir, que en su mayoría las especies son originales del ecosistema vegetal. Dicha situación se presenta en los bosques mesófilos de montaña, pues la superficie total reportada (1.7 millones de ha), el 50 por ciento se encuentra en condición de vegetación secundaria, poniendo de manifiesto la alta presión ejercida sobre este tipo de formación y la necesidad de implementar acciones concretas en las áreas de conservación y de la restauración de ecosistemas vulnerables.

En este sentido de acuerdo a la información del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2004-2009, tomando como base la Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie IV, escala 1: 250, 000 del INEGI (2007), la dinámica de cambio en la cubierta forestal demuestra no sólo la pérdida de superficie forestal a favor de otros usos, sino que también refleja el cambio en la estructura y composición de las masas forestales. Las áreas arboladas y forestales de México están influidas fuertemente por actividades humanas. Los grupos humanos han modelado los paisajes desde hace miles de años (Boege, 2010) por lo que prácticamente en todo el país se observan formaciones vegetales antropogénicas.

Figura 2.1. TIPO DE VEGETACIÓN A NIVEL NACIONAL

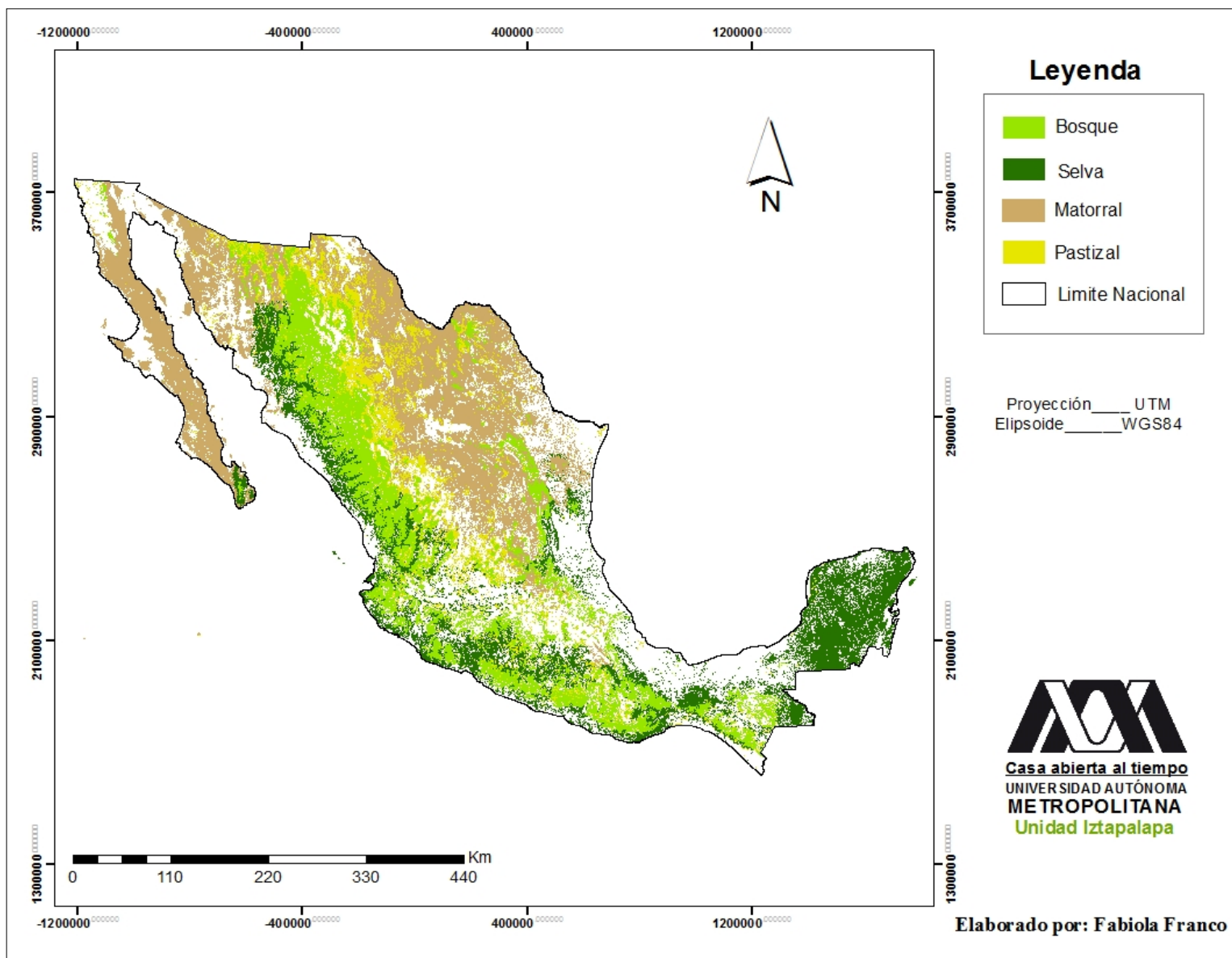


Figura 2.1. Vegetación potencial a nivel nacional, Elaboración propia a partir Catálogo de metadatos geográficos, Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y vegetación serie VI. Conjunto Nacional.

“La información existente es limitada y no se cuenta con un documento de referencia que hable sobre la distribución original de la vegetación, sin embargo, por revisión de literatura especializada (Rzedowski, J., 2006) y con la información recabada en campo se puede elucidar qué tipo de vegetación se presenta dentro del territorio nacional. El INEGI, con base en lo anterior, y con interpretación analógica de imágenes de satélite y elaboración de hipótesis sobre las áreas que se localiza la vegetación. Los tipos de vegetación representan agrupaciones de las categorías originales reportadas en la cartografía citada en la fuente.

A continuación, se enuncian las principales agrupaciones formadas: Bosque de coníferas: Bosques de Ayarín (*Pseudotsuga menziesii*), oyamel (*Abies religiosa*), cedro (*Cedrela odorata*), pino (*Pinus*), pino-encino (*Cronartium*), táscate (*Juniperus deppeana var Deppeana*), matorral de coníferas (*Pinophyta*). Bosque de encino: Bosques de encino (*Quercus*), encino-pino (*Pinaceae*). Matorral xerófilo: Matorrales crasicaule, Desértico Micrófilo, Desértico Rosetófilo, Espinoso tamaulipeco, Rosetófilo Costero, Sarcocaulo, Sarcocrasicaule, Sarcocrasicaule de Neblina y Submontano, Mezquital y Vegetaciones de Desiertos Arenosos Gipsófila (*Gypsophila paniculata*) y Halófila. Pastizales: Gipsófilo, Halófilo y Natural, Pradera de Alta Montaña y Sabana. Selva Caducifolia: Matorral subtropical, Selvas baja y mediana. Selva Espinosa: Mezquital, Selvas baja espinosa y subperennifolia. Selva Perennifolia: Selvas alta perennifolia y subperennifolia y Selvas baja perennifolia y Mediana Subperennifolia. Selva Subcaducifolia: Selvas baja y mediana subcaducifolia. Otros: Otros tipos de vegetación (Mezquital y vegetación de dunas costeras) y Vegetación hidrófila (manglar, vegetación de galería, halófila, y subacuática).” (SEMARNAT, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, 2012).

### 2.1.1. REGIÓN BOSQUE DE AGUA

El bosque de Agua se compone con fragmentos de bosques y pastizales estimados de 1 121 km<sup>2</sup> de superficie, y ayudan a filtrar el agua subterránea. Abarca cuatro cadenas montañosas y tres entidades adyacentes que son la Ciudad de México, Estado de México y Morelos, así como parques nacionales como La Marquesa, Ajusco, Desisto de los Leones, y otras áreas protegidas.

En la región del Valle de México se encuentra bosques templados subhúmedos, de tres especies principalmente: oyamel, pino y encino; que fueron analizados para determinar la densidad de arbolado (árboles por hectárea), y en para este trabajo de investigación cubrió toda la zona boscosa que rodea a las áreas naturales protegidas

En este contexto, el Bosque de Agua cuenta con recursos naturales de gran importancia, que son cuatro de los acuíferos subterráneos más importantes del país que proporcionan la mayor parte del agua de la Ciudad de México. Es por ello que esta región compone a regular los problemas ambientales hídricos y climáticos que presenta el valle de México, en particular por filtrar los contaminantes del aire, así como salvaguardar el ciclo del agua conectado a dos de los ríos más grandes del país, el Lerma y el Balsas, y los acuíferos que suministra aproximadamente dos tercios del agua del área metropolitana.

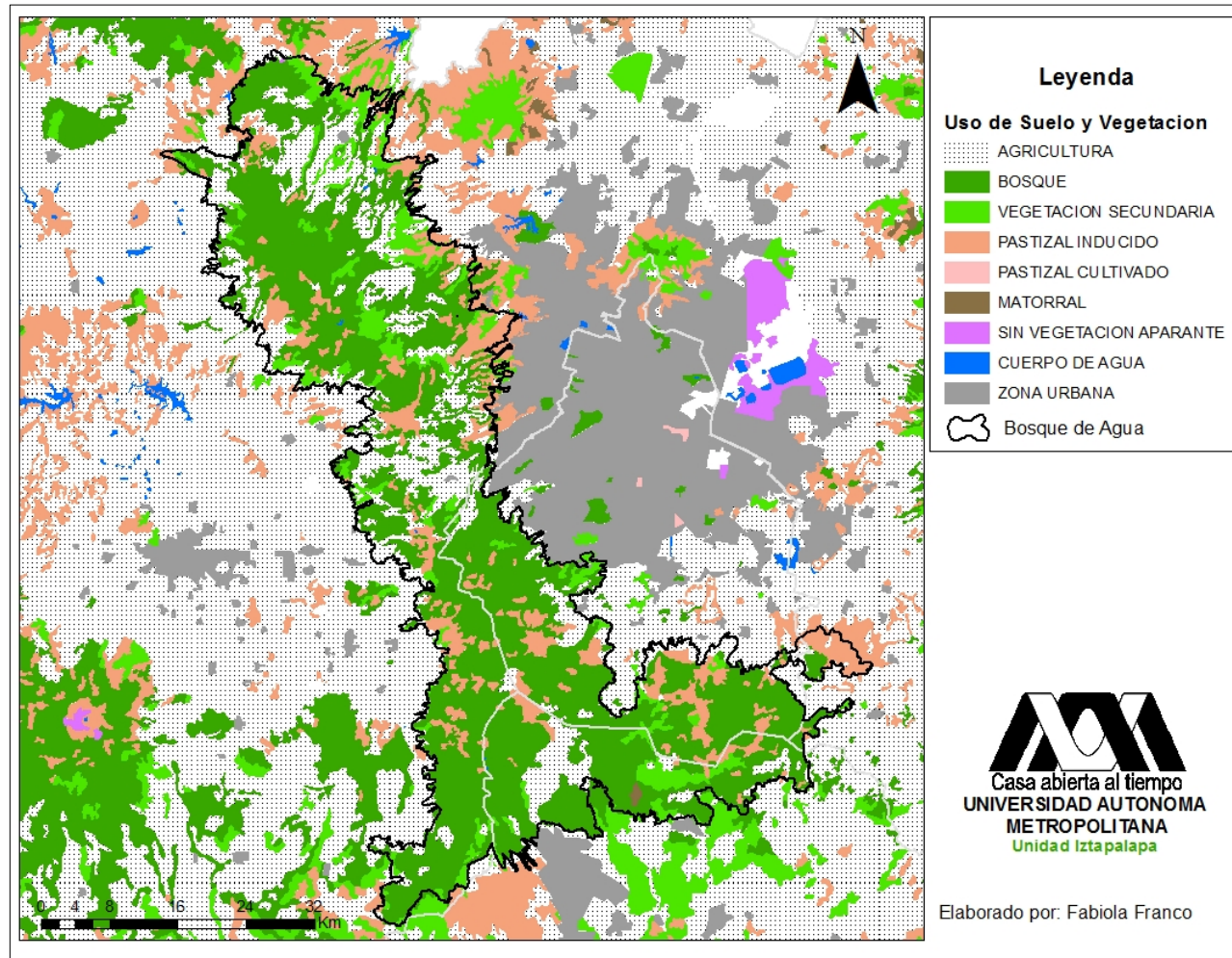
Por otro lado, la región de la cuenca de la Ciudad de México ha tenido una rápida urbanización que amenaza a los bosques y pastizales. La ONU define una megaciudad como un área urbana con más de 10 millones de habitantes. El área metropolitana de la Ciudad de México, que incluye Cuernavaca y Toluca se estima un aproximado de 22 millones de habitantes dentro de esta megaciudad. En consecuencia, la región Bosque de Agua se reduce cada año de árboles de pino, oyamel y pastizales debido a la tala ilegal y a la expansión urbana.

Con relación el Bosque de Agua a centros urbanos, ha experimentado durante las últimas décadas un crecimiento acelerado a medida que los asentamientos humanos invaden los terrenos forestales. Se estima que cada día se pierden 2400 hectáreas en la región del Bosque de Agua, según datos del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. A este ritmo, según los expertos, el Bosque de Agua podría desaparecer en el próximo medio siglo.

A parte de que la urbanización amenaza la pérdida de bosques y pastizales, la pobreza ha llevado a los comuneros de la región a recurrir a la tala ilegal en tierras comunitarias. Además, es más común alquilar ilegalmente tierras comunitarias para el cultivo a gran escala de papa y a otros cultivos que propician un mayor desmonte. A medida que los pastos nativos son reemplazados por asentamientos humanos y proyectos de plantación de árboles mal ubicados, contribuye a las inundaciones en áreas urbanas densamente pobladas río abajo, al tiempo que reduce el agua disponible para recargar los acuíferos.

Finalmente, como muchos ecosistemas del país, el BA ha tenido diversos procesos de transformación territorial por la presión metropolitana y sus actividades socioeconómicas. La alteración de sus relaciones ecológicas de tipo sociocultural y ambiental; el avance urbano la deforestación; la descomposición de las estructuras agrarias con la privatización del ejido; los cambios al uso del suelo; la construcción de autopistas y la ineficacia de los instrumentos de política ambiental son tan sólo algunas de las problemáticas socioambientales presentado por los fenómenos de deterioro, fragmentación y destrucción los ecosistemas.

**Figura 2.2. USO DE SUELO Y VEGETACION DE LA REGION DE BOSQUE DE AGUA (PERIODO 1993)**



*Figura 2.2. Uso de suelo y vegetación de la región Bosque de Agua 1993. Elaboración propia a partir Catálogo de metadatos geográficos, Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y vegetación serie II (desarrollada en la década de 1990). Conjunto Nacional.*

La detección de cambios identifica las diferencias entre las características de la cobertura terrestre en épocas diferentes. de modo que, la información geoespacial demuestra la distribución del uso del suelo agrícola, la vegetación natural e inducida, así como el cambio de uso de suelo que se presenta en el territorio relacionados con la cubierta vegetal (INEGI, 2014). Los diferentes ecosistemas vegetales son agrupados de acuerdo al sistema basado en los trabajos de Faustino Miranda y E. Hernández (1963) y Jerry Rzedowki (1978, 2005).



**Figura 2.3. USO DE SUELO Y VEGETACION DE LA REGION DE BOSQUE DE AGUA (PERIODO 2014)**

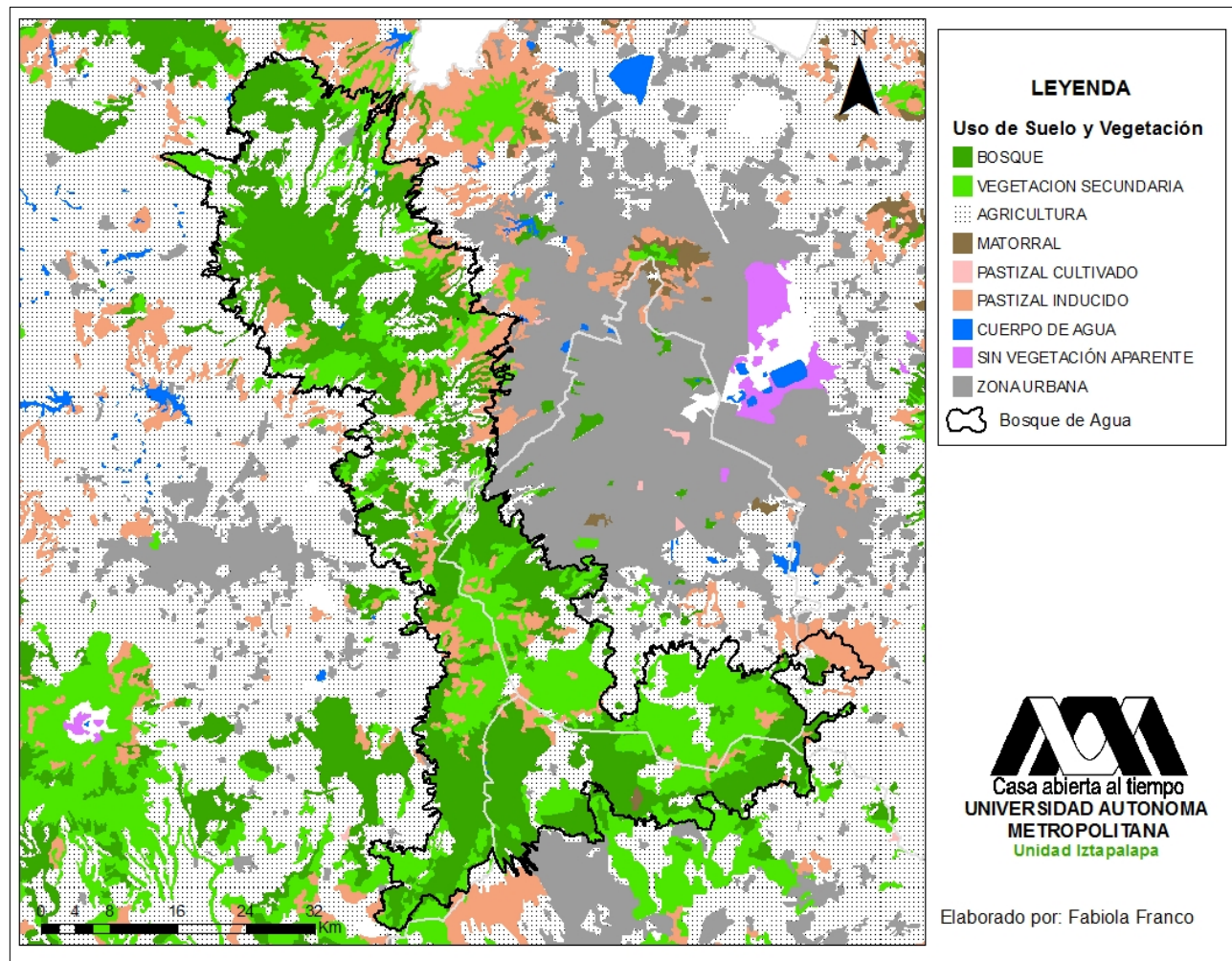


Figura 2.3. Uso de suelo y vegetación de la región Bosque de Agua (2014). E. elaboración propia a partir Catálogo de metadatos geográficos, Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y vegetación serie VI. Conjunto Nacional.

Como se observa en las figuras 2.2 y 2.3., la cobertura vegetal está en constante modificación debido principalmente, a los cambios que ejercen las actividades humanas sobre ella (INEGI, 2014). La implementación de metodologías para evaluar la disponibilidad y el estado actual de los recursos naturales se realizó la revisión de diferentes versiones de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI.

## 2.2. APROXIMACION TEÓRICA DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO Y COBERTURA FORESTAL DESDE LA GEOGRAFIA

El espacio geográfico es transcendental para el estudio de las asociaciones entre las actividades económicas, formas de sustancia humana y condiciones ambientales. Además, es el campo de estudio de análisis de las interacciones entre el territorio, las condiciones naturales y socioculturales (Juan, 2013). Dentro de la disciplina de la geografía, el suelo es un cuerpo natural que se encuentra sobre la corteza terrestre, por tanto, surgen todas las formas de vida y prácticas del ser humano.

El suelo está constituido por materiales no consolidados como minerales, material orgánico, agua, aire y seres vivos. Se forma a partir de las rocas o sedimentos durante miles de años por la acción de agentes físicos y químicos y por la actividad de los organismos que en él habitan. El suelo es utilizado como sustrato por las plantas a las que aporta agua, oxígeno y nutrientes, otras de sus funciones son la captación de agua y también mantiene la diversidad de la biótica que habita (Wardle et al. 2004).

El suelo presenta una alta heterogeneidad espacial, horizontal y vertical, que se refleja en el paisaje y en los horizontes del suelo, lo que genera una gran variedad de hábitats. Estas condiciones permiten el desarrollo de organismos con diversas estrategias de obtención de energía y alimentos (Verhoef y Olff, 2009).

En este sentido la contribución de la geografía al tema ambiental se ha dado desde su conformación como ciencia, y lo ha hecho desde la perspectiva territorial espacial, al igual ha aportado a la comprensión de la dimensión espacial la noción de medio ambiente. En otras palabras, si bien muchas disciplinas, en especial se ha aportado a lo ambiental, la geografía lo ha hecho tradicionalmente con una especificidad que la diferencia de otras disciplinas (Bocco et al, 2011).

La geografía tiene su aproximación en la relación entre espacio y ambiente, que a través de sus principios aporta la comprensión de las relaciones espaciales para describir y entender el impacto de las actividades humanas sobre el ambiente. Su objeto está enfocado en el análisis de hechos y fenómenos (Bocco, 2007). Este argumento es de nuestro interés, ya que el análisis de los factores que están ocasionando al cambio de uso de suelo en el espacio geográfico que corresponde con los componentes del ambiente y de su interacción con la sociedad y sus actividades.

Los estudios de la geografía ambiental desembocan en la necesidad de una ordenación del territorio y la preocupación por regular los conflictos ambientales resultantes de los desórdenes de las acciones del ser humano sobre su hábitat. En este sentido, la geografía ambiental tiene una aplicación en



el análisis entre la sociedad y el ambiente, es precisamente, explicar las interacciones que ocasionan los procesos de cambio de uso de suelo y sus impactos en un contexto regional (Bocco, 2011).

En las últimas décadas se han realizado diversos estudios en el tema del cambio de uso de suelo, así como el abordaje de la interacción entre el medio ambiente y actividades del ser humano a partir de las cuestiones económico-ambiental que se ha situado actualmente a escala mundial. Sin embargo, la pequeña escala se representa en los estudios geográficos en la discusión científica.

De esta manera se analizan las problemáticas socio-ambientales en la literatura de los años setenta, en el boom del crecimiento fordista, predominaba el discurso a los “límites al crecimiento” (Meadows, 1972) relacionado a la crisis ecológica provocada por éste. Estos límites se cuestionaban el modelo económico con carrera desarrollista que se mantenía dentro del contexto de la guerra fría.

Después en la década de los 90 se plantea el marco “más allá de los límites” (Meadows, 1992) teniendo inclinación al análisis del cambio global en función a la tecnología desvanezca los límites en fronteras cada vez más lejanas. Este cambio de enfoque no está ajeno a la atención de los recursos y el territorio al nuevo escenario de adaptación tecnológica.

En este sentido, en la historia de la humanidad podemos destacar los acontecimientos que ha desencadenado la actual crisis social económica y ambiental que ha alterado y transformado a los ecosistemas (Babier, 1994). La “domesticación” de la naturaleza, a partir de la revolución neolítica, conllevó la desaparición, sustitución o transformación de cerca del 50% de la cubierta terrestre.

Posteriormente, la revolución industrial como la ciencia económica intensificó las actividades humanas sobre ecosistemas y recursos naturales, a partir de lo cual nace la economía global, financiera y virtual, con impacto materialista y antiecológica. En este contexto, en los últimos decenios, se ha desarrollado la economía ecológica. Este planteamiento intenta romper la idea del sistema económico habitual y trabajar en conjunto con las ciencias de la naturaleza, para ejercer el análisis que permita el dialogo en común entre la “economía” y la “ecología”.

Los cambios en la cubierta vegetal y usos de suelo son cada vez más relevantes para analizar los elementos y discrepancias entre la sociedad y los ecosistemas terrestres. Este análisis es indispensable para la planificación territorial que afectan a temas como la gestión hídrica, los procesos de erosión-desertificación, la pérdida de biodiversidad, las dinámicas antropogénicas, etc. (Murray, 2005).

Para iniciar hay que tener en claro la terminología de este análisis de investigación. Los autores como De Bie (2000) o Briassoulis, *nombran usos y cobertura del suelo* lo que, en ocasiones, se ha denominado en la literatura geográfica española *usos y ocupación del suelo*.

Los usos del suelo (*land use*) equivale a las actividades que desarrollamos las personas, con la intención de obtener productos o beneficios a partir de los diferentes recursos. Por su lado la ocupación o cobertura del suelo (*land cover*) se define como la categorización física, química, ecológica o biológica de la superficie terrestre que da lugar a unidades superficiales específicas (forestal, pasto, cemento, asfalto, etc.).

Los cambios en los usos del suelo afectan a la modificación y transformación de la cubierta del mismo. Al referirse de una cubierta transformada corresponde a aquella que ha sido sustituida completamente por otra. Por ejemplo, en el caso de bosque tropical que en grandes extensiones ha sido transformada para convertirse en cubierta de agricultura y pastoreo. En cambio, se considera modificada cuando se producen cambios en ella que no afectan a su clasificación (Boada y Saurí, 2002). Bajo este argumento, podemos confirmar que la cubierta hace referencia al aspecto morfológico y tangible del suelo, mientras que los usos hacen referencia a las funciones que se desarrollan sobre esas cubiertas. Por tanto, una misma cubierta puede obtener diferentes usos y un mismo uso puede desarrollarse sobre diferentes cubiertas.

La transformación de la cubierta terrestre tiene implicaciones ecológicas y económicas. Los cambios contemporáneos en usos y cobertura del suelo implican, como primer impacto, una reducción de la producción primaria neta de los ecosistemas y, como resultado de ella, un aumento de los requerimientos materiales y energéticos para asegurar el funcionamiento del sistema económico asociado.

En este sentido, en la actualidad se tiene la perspectiva a nivel mundial acerca de la preocupación de los recursos forestales. La erosión en los bosques ha provocado pérdidas en la vegetación forestal. Estas acciones tienen un impacto en el cambio de uso de suelo que se ve afectado por las diferentes tendencias socioeconómicas que repercute en las nuevas políticas existentes y en la importancia que están dando por tomar una nueva estructura que sustente la oferta y demanda de estos recursos, así como una política que sustente su durabilidad. Las presiones sobre el bosque varían en función del país y de la región, igual que con el tiempo. Esto significa que existen diferentes factores que provocan la disminución de cobertura forestal a lo largo del tiempo en relación con las circunstancias que provocan la recuperación del mismo (Grangier 1995). Así mismo destacan factores socioeconómicos como la sobreexplotación humana sobre los bosques, entre otras cosas, por su acceso al mercado, la naturaleza del uso del bosque y la seguridad en la tenencia (Chomitz et al. 2006). Existen varios supuestos y perspectivas que intervienen en el manejo sustentable de los bosques. Por consiguiente, el concepto de Transición Forestal es de suma importancia, ya que proporciona conjeturas comprobables que interactúan con los diferentes factores sociales.

Este concepto de la transición forestal surge a partir de los años noventa, cuando los geógrafos buscaron describir patrones de un cambio en la cobertura forestal conjuntamente con un proceso de desarrollo (Mather 1992; Drake 1993; Grainger 1995). Los investigadores mencionan que, a través del tiempo, disminuye la cobertura forestal, pero en cierto punto este proceso se revierte y se expande. Esto conlleva a una curva en forma de U o de J revertida de la cobertura de bosque con el tiempo.

La transición forestal ha generado interés acerca de las pérdidas de bosques tropicales y de sus consecuencias. Como resultado historiadores, geógrafos e investigadores del cambio del paisaje han realizado estudios de transición forestal en ciudades desarrolladas en Europa y en Norte América. Al parecer, la transición forestal tiene un patrón común en muchos de los países desarrollados (Rudel, 1998). Se observó que la transición forestal resulta de la combinación de tasas de deforestación desaceleradas y tasas de reforestación aceleradas. Esta tendencia ha llegado a muchos países industrializados y en desarrollo. Las causas y procesos son distintos para cada país. Estos factores dependen de la propensión de la población, en las demandas de bosques y servicios, y en el valor y percepción que se tengan sobre los recursos naturales.

La idea de la Teoría de la transición Forestal (TTF) de Mather, argumenta y fundamenta que los cambios de la cubierta forestal se desarrollan a largo plazo. Cuando se observa que la cubierta forestal va en declive, es porque la tierra en el bosque se convierte en otro uso de suelo. Por el contrario, cuando la deforestación, degradación o nuevo crecimiento natural se produce, es porque la tierra bajo un uso alternativo es reemplazada por más terrenos forestales.

La contribución de Alexander Mather para el análisis del cambio de uso de suelo a largo plazo fue la de proponer que la cubierta forestal de un país generalmente disminuye a medida que se desarrolla social y económicamente, pero con respecto al tiempo, esta tendencia se invierte y el bosque termina por ampliarse. El punto que se detiene la pérdida de bosques y empieza a incrementar, Mather lo llama la transición forestal (Mather, 1990, 1992).

La teoría de la Transición Forestal describe un patrón del cambio del suelo a largo plazo. Se postula que, a través del tiempo, la cobertura forestal disminuye, sin embargo, en algún momento ocurre una transición, tal que la disminución se detiene y ocurre lo contrario, por lo que la cobertura forestal se expande. Por otro lado, la disminución de bosque proviene a partir de un desarrollo nacional. Además, el crecimiento económico a través de la industrialización incrementa la demanda de madera, así como otros recursos naturales y alimentos. La recuperación de cubierta forestal sucede cuando los países alcanzan etapas de mayor desarrollo. Se reduce la demanda de cobertura forestal por las tecnologías y al haber un crecimiento industrial, la población empieza a mitigar del campo a las ciudades, lo cual reduce la presión de los bosques para la subsistencia de la agricultura. Por último, las normas cambian con el fin de proteger

la calidad del medio ambiente dando lugar a organizaciones ambientales, reservas forestales y políticas para promover un manejo de tierra adecuado.

Mather señala cómo la relación entre el cambio del bosque y el cambio de la población puede variar con el tiempo (1998). También sugiere que las tendencias positivas en los bosques son más probables en países con instituciones políticas democráticas (Mather & Needle, 1999). Otros estudios sugieren que la disminución de área forestal sucede a partir de una variedad de mercado excesivo y de fallas en políticas e inadecuadas regulaciones. Sin embargo, para la mayoría de los países el principal cambio resulta de la conversión de cobertura forestal a uso de suelo agrícola en respuesta de la demanda de comida y de otras actividades que se da a partir de un crecimiento económico acelerado y del crecimiento poblacional. La expansión en tierras agrícolas puede llegar a disminuir eventualmente cuando la tierra alcance los límites de aptitud a de fertilidad, con la modernización del campo, con nuevas y mejoras tecnologías y cuando la economía llegue a una etapa avanzada de desarrollo hasta llegar al punto de la demanda de comida sea menor. Al igual, si el campo es abandonado y no se convierte en otro tipo de uso, entonces una reforestación natural podría existir. El periodo en el que ocurre dicha transición tiene que ver con las condiciones y el manejo de cada país. La transición forestal se efectúa de acuerdo a tendencias demográficas, a cambios de percepciones en cuando al valor del ecosistema y a las tasas de reforestación y aforestación. Aun si se expande el área forestal, no se llegará a una recuperación total de los recursos originales.

## 2.2.1. APORTACIONES Y MODELOS DE ESTUDIO DEL CAMBIO DE USO DE SUELO

Los estudios abordados sobre los procesos de cambio en la cobertura vegetal y usos del suelo se concentran con investigaciones dentro de las áreas de estudio ambiental actual. La mayor parte de los cambios que ocurren en los ecosistemas se deben a: a) conversión de la cobertura del terreno, b) degradación del terreno y, c) intensificación en el uso del terreno. Estos procesos, se engloban en lo que se conoce como deforestación o degradación forestal y se asocian a impactos ecológicos importantes (Bocco, et al., 2001).

Dado que los cambios dentro de un territorio son complejos de comprender, es necesario estudiarlos de manera holística. El territorio no puede verse como un sistema apartado de procesos sociales, es un conjunto integrado por una parte natural y una social, los cuales son dinámicos y están sujetos a transformaciones a través del tiempo.

Mapear los usos del suelo ha sido una práctica que se ha ido realizando desde 1940 mediante el uso de fotografías aéreas, los cambios físicos en el uso del suelo han sido identificados a través de los mapas y permiten identificar las inferencias sobre las razones económicas, sociales y ambientales involucradas en dichos cambios. Una manera de evaluar los cambios en el uso del suelo es a partir de la medición en la cobertura vegetal y no vegetal. Tradicionalmente esta medición de cambios de cobertura se realiza con base en información generada a partir de percepción remota (usualmente fotografías aéreas e imágenes de satélite).

En los últimos 30 años la cuantificación y monitoreo de los cambios en los usos del suelo o en las coberturas de terreno, se ha realizado en imágenes satelitales. Por lo tanto, la cuantificación de cambios de uso de suelo a través de la percepción remota junto con las herramientas de análisis que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica para modelar los procesos de cambio es una forma muy eficaz para comprender la dinámica de cambio de un territorio.

De esta manera para la cuantificar los cambios de suelo existen modelos que utilizan parámetros simples, incluyendo la extensión de las actuales áreas urbanas, las principales vías de transporte, la distancia de distintos puntos de localización, las condiciones topográficas y ambientales, y la existencia de tierras en situación especial (áreas protegidas, áreas forestales). El punto central de la modelación es la identificación de los factores físicos y socioeconómicos que determinan o condicionan la presión sobre el cambio de uso del suelo en un territorio determinado.

Los diferentes modelos de cambio de uso de suelo se han transformado en una poderosa herramienta de análisis espacial orientada, principalmente, a los siguientes aspectos: (a) Explorar los variados mecanismos que fuerzan los cambios de uso del suelo y las variables sociales, económicas y espaciales que conducen a esto; (b) Proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo, y; (c) Evaluar la influencia de alternativas políticas y regímenes de manejo sobre los patrones de desarrollo y uso del suelo (Aguayo et al., 2006).

Dos aproximaciones prevalecen en la modelación de patrones espaciales de los cambios de uso del suelo: (a) Modelos basados en regresión, y (b) Modelos con base en transición espacial. Los primeros establecen relaciones entre un amplio rango de variables predictivas y las probabilidades de cambio de uso del suelo. La influencia de factores locales sobre el cambio de uso es tradicionalmente modelada con la función de decaimiento de distancia, donde la influencia decrece con el incremento de esta medida (Theobald y Hobbs, 1998; Weng, 2002). Generalmente, en la modelación con base en la regresión estadística se han usado aproximaciones lineales (como la regresión logística), no lineales (vinculadas a redes neuronales), y modelos aditivos generalizados (Pijanowski, et al., 2005).

La premisa de estos modelos es establecer relaciones funcionales entre un conjunto de variables debidamente especializadas que, posteriormente, son usadas para estimar la localización de los cambios sobre el paisaje. Los valores de las variables y los casos reales de cambio de uso del suelo son normalmente observados a partir de datos históricos obtenidos desde imágenes satelitales o fotografías aéreas verificadas en terreno.

Debido a la naturaleza espacial de muchas de las variables de entrada, la integración con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) es esencial ya que permite un manejo y análisis espacialmente explícito de los datos asociado al modelo (Qi y Wu, 1996; De Koning et al., 1999). En este sentido, los SIGs son un aporte en: (a) La selección de variables de entrada para la modelación; (b) La identificación de patrones espaciales en los datos; (c) La cuantificación de los cambios temporales observados o predichos; (d) La evaluación de factores que operan cruzando una variedad de escalas, y; (e) La visualización de los resultados.

Según Brown et al. (2002), para que los modelos predictivos se transformen en una herramienta útil es necesario que representen de manera eficaz: (a) La magnitud de los cambios; (b) La localización de los futuros cambios, y; (c) Los patrones espaciales de estos cambios. Aunque diversos modelos tratan las tres condiciones, pocos modelos están orientados específicamente a representar los patrones espaciales de los cambios de uso y coberturas del suelo como entrada para un modelo de evaluación de impacto ambiental de carácter predictivo.

Es así que existe un gran número de métodos para la detección de cambios, que han sido puestos en práctica y han sido probados, no existe uno mejor ni peor, esto depende de varios factores: 1) Área de estudio, 2) Información disponible para el área de estudio 3) Conocimiento del analista y su habilidad para el manejo de los datos provenientes de los sensores remotos.

Con la finalidad de dar el enfoque para estudiar los cambios de uso de suelo se debe integrar múltiples disciplinas y considerar las siguientes características: a) La complejidad de las causas que propician el cambio, b) Diferencias e interrelaciones entre uso del suelo y cobertura del suelo, c) Interacción de los procesos socioeconómicos y biofísicos, d) Escalas multi-temporales y multi-espaciales en las que operan los procesos, e) La interacción a través de los múltiples niveles de organización, f) Retroalimentaciones y conexiones entre los espacios geográficos y sociales, g) Los múltiples enlaces entre el territorio y la población, h) Importancia de los distintos factores sociales, demográficos, económicos, políticos y culturales en la toma de decisiones i) El uso combinado de métodos cualitativos y cuantitativos (López et al., 2001).

Con el propósito de este trabajo, se utilizó imágenes de satélite y mediante técnicas de percepción remota se implementó un modelo basado en la clasificación de imágenes a través del análisis visual multi-temporales, digitalizando las áreas de cambio, la textura y la forma que son elementos claves para la identificación de los cambios.

Por último, los diversos usos que se le asignan al suelo constituyen un tema de principal importancia debido la creciente participación del hombre en su transformación y degradación al ecosistema. La actuación del hombre en un territorio adquiere mayor significado con las primeras sociedades agrícolas, no obstante, en épocas recientes con el desarrollo científico y tecnológico el ser humano ha incrementado su capacidad para desarticular o perturbar el lugar que habita, ocupado cada vez más dominio dentro de la dinámica de un territorio, sobreexplotando así su capacidad de carga.

La actividad más reproducida se encuentra con la intensificación de las actividades agrícolas, que supera la capacidad de resiliencia de los ecosistemas, teniendo como consecuencia descensos piezométricos continuos del suelo, disminución de recursos y deterioro de la calidad de agua (Vera y Romero; 2004). Esto se presenta en muchos de los municipios del país que conlleva transformaciones drásticas en su paisaje debido a las aceleradas tasas de cambio de uso de suelo.

Como se ha señalado, diferentes procesos de transformación han sido responsables del cambio de uso del suelo. El modelo más representativo indica que el crecimiento poblacional es el responsable del incremento de la superficie cultivada o destinada al ganado, puesto que existe una necesidad de alimentar a más población, así como de la pérdida de cobertura forestal. Sin embargo, en las últimas décadas la superficie agropecuaria creció más lentamente respecto a la población mundial, debido en

parte a que la producción agrícola es más eficiente. En consecuencia, se tendría que analizar los efectos de la llamada “frontera agropecuaria” sobre los procesos de cambio de uso de suelo. Y, por último, el crecimiento de las ciudades como fuente destacada de modificaciones en este tema.

En definitiva, el cambio de uso de suelo y la pérdida de la cobertura forestal es una de los principales problemas que padece la humanidad como los ecosistemas, ya que estos fenómenos son la principal causa del cambio climático global y se relaciona directamente con la seguridad en la producción de alimentos, la salud humana, la urbanización, la biodiversidad, la migración transfronteriza, los refugios ambientales, mala calidad de agua y del suelo (López, 2006).



## CAPÍTULO 3

En el estado mundial de la agricultura y la alimentación 2007 consideró que “la capacidad de invención del ser humano aplicada a la producción de alimentos y otros bienes ha proporcionado a la producción de mantener el ritmo del crecimiento de la población y de la demanda impulsada por los ingresos, aunque expensas de una importante degradación de otros servicios de ecosistemas”, incluidos los forestales. El mantenimiento de los servicios prestados por el ecosistema forestal y la producción sostenible de productos forestales han cobrado difusión creciente debido a los riesgos que conlleva el cambio climático derivado de la deforestación y la degradación de los bosques (REDD) (FAO,2008).

La cobertura vegetal y el uso del suelo son elementos principales que describen el ambiente terrestre con el entorno natural y las actividades humanas. El término “Cobertura del terreno”, se aplica a los objetos que se encuentran sobre la superficie y que pueden ser de origen natural o producidos por el ser humano; así como desde el punto de vista de las ciencias naturales, se refiere al estado físico de la cobertura vegetal que está determinada por factores biofísicos, como son el clima, topografía, tipo de suelos, disponibilidad de agua y el tipo de vegetación (López, 2006).

Por lo tanto, un tipo de cobertura puede involucrar diferentes usos (por ejemplo, un bosque puede tener usos forestales, de conservación y de investigación), de la misma forma un uso de suelo puede involucrar diferentes categorías de coberturas (por ejemplo, la actividad pecuaria se puede desarrollar en pastizales, tierras de cultivo, matorrales e inclusive en bosques). La relación entre el tipo de cobertura y el uso del suelo, no es una relación única, puede ser de un tipo de cobertura a un uso específico, de un tipo de cobertura a diferentes usos, y de diferentes coberturas a diferentes usos (Meyer y Turner 1994).

A escala mundial se reconoce que las principales presiones a la biodiversidad están relacionadas con los procesos de cambio de uso de suelo, primordialmente debidos a la agricultura, la ganadería, la extracción forestal, el desarrollo de infraestructura y el crecimiento desordenado de las ciudades (Palacio et al. 2000, CEMDA 2002, PNUD 2003, OIMT 2006). En México, el impacto ha sido mayor en las selvas tropicales húmedas, aunque los bosques templados también han sido objeto de pérdida y degradación de los hábitats, con los principales remanentes concentrados en las áreas de montaña (Maserá et al. 1997, Palacio et al., 2000, CEMDA 2002).

Debido a la constatación de las dinámicas en los cambios de uso de suelo en tierras forestales, en esta sección se aborda la discusión y la revisión bibliográfica del término de cambio de uso del suelo desde sus inicios de las ciencias sociales, teniendo la importancia entorno a la geografía. El concepto del cambio

de uso del suelo, se acuñó a finales del siglo XIX en el ámbito de las ciencias sociales (geografía humana) y en la agronomía, teniendo principal auge en la literatura científica entre 1930 a 1950. De tal manera, el uso del suelo es el resultado de la actividad del hombre sobre la cubierta del suelo, es decir, patrones principalmente culturales (Velázquez, Bocco y Siebe, citado en Nature, 1994).

La literatura geográfica más tradicional estudia al territorio a través de la descripción y al análisis de su forma más tangible. La descripción y análisis más intangible se presentó posteriormente a la llamada revolución cuantitativa que afectó a las ciencias sociales a partir de las décadas de 1960 y 1970 (Capel, 2003). Este enfoque incorpora algunas funciones económicas, olvidando el estudio de las funciones ecológicas y los flujos de materia y de energía que genera el modelo territorial (Murray, 2005).

En el campo de la geografía los primeros trabajos de las relaciones entre los seres humanos y el medio, se encuentra el autor George Parkins Marsh, particularmente una publicación en 1864 titulado “Hombre y naturaleza, o geografía física modificada por la acción del hombre”. Considerado como un título que nace de las ideas modernas sobre las interacciones hombre-naturaleza (Murray, 2005).

De tal manera, el análisis geográfico, incluye la revisión histórica de donde derivan los rasgos culturales de uso de suelo en diversos momentos y a diversas escalas, las tasas de transición entre cubiertas comparables, el análisis de los elementos geográficos conectores como carreteras, ríos y distintos modelos descriptivos y predictivos (Koomen, Stillwell, Bakema y Scholten, 2007).

Posteriormente, el uso de la fotografía aérea se utiliza el término de “cubierta” y se conforma la dupla “cambio de uso/cubierta del suelo” (CCUS) (Land use/cover change o LUCC por sus siglas en inglés). Entre los años 1960 y los 1980, se destaca la importancia de este concepto debido al desarrollo de los sensores multiespectrales a bordo de satélites se inicia el uso de la percepción remota para el análisis de CCUS, acompañada del desarrollo de los sistemas de información geográfica (Velázquez et al., 2015).

A partir de los años 1970 a la actualidad se incrementa el uso y referencia del concepto de cambio de uso del suelo. En el año de 1994 el Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP por sus siglas en inglés) adopta “CCUS” como un concepto clave que derivan textos que abordan temáticas principalmente metodológicas. En este contexto en últimas décadas, al cambio de uso del suelo está relacionado al proceso responsable de la pérdida de integridad funcional de los ecosistemas (Vitousek et al., 1997), el factor clave de la pérdida de la biodiversidad (Sala et al., 2000) y la acción humana fundamental para detonar el cambio climático (Dale, 1997).

Otra forma de explicar éste concepto es a través de las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal, se conocen como usos del suelo (Semarnat, 2010). Desde el punto de vista geográfico, los tipos de usos y su grado de explotación influyen en las variedades del paisaje y al modificarse ocasionan cambios en los usos del suelo; estos cambios se encuentran dentro de la

investigación ambiental actual, debido a la relación con la pérdida de hábitat, biodiversidad, bienes y servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas (Fernández y Prados, 2010).

Los cambios en la cobertura del suelo también incluyen los cambios en la productividad primaria y la calidad del suelo. Estos cambios determinan, en parte, la vulnerabilidad de los lugares y de las personas, a las perturbaciones climáticas, sociales y económicas (Kasperson et al., 1995).

Asimismo, en ciencias sociales (geografía humana, antropología, economía agrícola), el uso de la “tierra” se refiere como un conjunto de acciones humanas que designa un manejo. Cada acción de manejo es resultado de un contexto cultural consensuado entre diversos grupos sociales con jurisdicción sobre la “tierra” entendida como un capital o patrimonio. Generalmente se distinguen dos tipos de actores: el manejador de la tierra (land manager) y el gestor de la tierra (land policy maker). El manejador genera prácticas o acciones que con el tiempo se convierten en tradiciones. El gestor norma a través de acuerdos, reglas y leyes de los usos como, por ejemplo, la utilización de agroquímicos para incrementar la producción anual. Cuando alguno de los actores no acata los términos del consenso, se genera un conflicto sobre el uso de la “tierra” y debido a que este término lleva una connotación de tenencia, el manejo que prevalece se inclina a favor del grupo social que tiene derechos legales (Platt, 2004, citado en Velázquez et al., 2015). En este contexto, el “cambio de uso del suelo” es una medida de balance existente entre los intereses sociales para implementar una acción de manejo consensuado (Yong, 2006, citado en Velázquez et al., 2015).

De modo que, en geografía, el concepto de cambio de uso de suelo en términos generales, se define como la dinámica de las actividades humanas sobre el espacio. Puesto que, en geografía humana, se enfatiza el análisis histórico de los factores sociales, económicos y culturales responsables de generar patrones de uso o manejo de un lugar en un tiempo determinado. En geografía física, prioriza la descripción de la extensión, complejidad y velocidad de la dinámica de cambio de los patrones de manejo expresados en cubiertas, y con énfasis en la proyección de la proclividad a futuro. Las herramientas de percepción remota y sistemas de información geográfica, los “tipos de cubiertas” se conciben, erróneamente, como sinónimos de patrones de cambio de uso de suelo. Dependiendo de las resoluciones escalares y temporales del territorio, se tiende a simplificar en cuatro grandes categorías de cubiertas: agrícola (croplands), pecuario (grasslands), silvícola (forestlands) y urbanos (human settlements) (Velázquez et al., 2015).

En consecuencia, el procedimiento más confiable para medir el grado de transformación ambiental antropogénica es el estudio de la dinámica espacio-temporal de la cubierta vegetal (Berry et al., 1996), o el análisis del cambio uso/coberturas del suelo (Turner y Meyer 1994), los cuales se fortalecen en el uso

de datos estadísticos y se sustentan en la interpretación de matrices, como la tabulación cruzada (López, López Vázquez, V. H. et al., 2014).

Los procesos de uso de suelo deben ser analizados dependiendo de los efectos diferenciales sobre el ambiente. La mayor degradación ambiental se alcanza cuando la magnitud de los daños sobrepasa la capacidad de los mecanismos naturales del ambiente para regenerar las estructuras y procesos ecológicos que favorecen la permanencia del potencial natural y de los servicios ambientales asociados a los ecosistemas. En la actualidad, los bosques contaminados y debilitados, susceptibles a enfermedades y plagas, forman parte del panorama que refleja la fragilidad e imposibilita al ambiente para recuperar su estabilidad.

La deforestación u otros cambios negativos de uso no sólo tienen implicaciones negativas en la cantidad de recursos, sino en su arreglo espacial en el paisaje. En este sentido, la principal consecuencia de la deforestación es la fragmentación, la cual se caracteriza por una disminución en la superficie del área restante.

Por ello, la perspectiva geográfica permite ayudar a entender las causas y consecuencias de los cambios de uso de suelo, debido a que éstos están social, cultural y económicamente determinados. Diversos autores sugieren que los cambios de cobertura y uso de suelo están asociados a dos tipos de causas: 1) causas directas, que son la transformación de selvas y bosques para expansión agropecuaria, la extracción forestal, el incremento en infraestructuras y la extracción de combustibles, y 2) causas subyacentes, son aquellas que se presentan fuera de la zona de los cambios de cobertura y operan en escalas geográficas amplias (Galicia, et al, 2007).

De este modo, los efectos que en últimas décadas de la participación del ser humano en el sistema ambiental es tema de primordial importancia. Por otro lado, la documentación de cambios históricos en los modelos de uso de suelo y cobertura del suelo son importantes, porque mantiene el contexto temporal necesarios de los estudios ecológicos modernos y de las decisiones de la política para la conservación. Las causas sociales, económicas, políticas y culturales de la deforestación y los cambios actuales de uso de suelo a nivel regional, es esencial para entender la distribución espacial de las comunidades y su vulnerabilidad ante los cambios antropogénicos y naturales (Galicia, et al, 2007).

### 3.2. FACTORES DE CAMBIO DEL USO DE SUELO

En los últimos tres siglos, el uso del suelo ha cambiado con una velocidad alarmante en toda la superficie terrestre. En México, cerca de la mitad del territorio ha sido modificado. La forma en que cambiamos la cubierta vegetal determina la presencia de vegetación como bosques y selvas. Por ello, es fundamental estudiar los procesos de cambio de uso del suelo, así como de los recursos que nos proporcionan (Semant, 2002).

La cubierta del suelo se refiere a la naturaleza o forma física de la superficie del terreno, que se puede identificar visualmente en campo o través de métodos y técnicos de la percepción remota (fotogrametría, fotointerpretación). Por otra parte, el uso del suelo, expresa el aprovechamiento a los fines económicos de esas cubiertas (Mather, 1986; Meyer y Turner, 1994).

El cambio en el uso del suelo es uno de los temas de mayor interés en las disciplinas ambientales. Establece uno de los factores primordiales en el cambio climático global, ya que altera ciclos biogeoquímicos como el del agua o el del carbono. Al igual es una de las causas más importantes de pérdida de biodiversidad a nivel mundial. Y sin duda, el medio por el que la sociedad reciente las alteraciones en el entorno. Así mismo, a través de estos cambios en el uso del suelo se materializa nuestra relación con el medio ambiente (Lambin et al., 1999).

En el año 2002 en México, aproximadamente el 44.9% de la superficie terrestre mostraba indicios de degradación inducida por actividades humanas. Sin embargo, la mayor presencia en el país es la degradación química (17.8%), que se produce principalmente por un agotamiento de los nutrientes del suelo, debido al uso intensivo en la agricultura, aunque la presencia de sustancias provenientes de tiraderos de basura, derrames y residuos industriales. De la superficie con degradación del suelo, el 5% está severamente deteriorado y el 95% está dentro de los márgenes de degradación ligeramente a moderada. En el territorio mexicano, la erosión hídrica es el segundo proceso de degradación del suelo más importante, afectando cerca de 12% de la superficie nacional (GEM, 2007).

En la actualidad, el crecimiento de las ciudades y de la población en algunos países, así como, el deterioro y abandono de las tierras de cultivo, el alto consumo de recursos para producir alimentos y la búsqueda de satisfactores para el bienestar social han influido en procesos de transformación del paisaje natural, es decir, los procesos de cambio de uso del suelo están influyendo en la transformación de la cobertura del suelo forestal.

Pese a que el suelo tiene la capacidad de auto regenerarse por sus características naturales, ese proceso tarda mucho tiempo o puede llegar a perder su regeneración, como en los casos de actividades de uso industrial, agrícola y urbano (Zapata, 2012). En mayor de los casos, el crecimiento de las ciudades es de forma incontrolada, no planeada o que obedece a intereses económicos y políticos, dejando a un lado los costos ambientales que puedan generarse, entonces se puede decir que las condiciones económicas y políticas de una población propician los cambios o impulsos de la urbanización desconcentrada o dispersa, a través de la incorporación de las periferias rurales al entramado urbano, lo que se ve favorecido por las mejoras en vías de comunicación, las restricción con respecto a creación de nuevos asentamientos en el núcleo, promoviendo el desarrollo inmobiliario (López y Wenseslao, 2009). El aumento demográfico de una ciudad, debido a las migraciones y al abandono del campo, es otro factor que propicia el crecimiento urbano, y éste incrementa el valor del suelo rural a medida que se incorpora a la ciudad (Cifuentes, 2009).

En México se han realizado inventarios de la superficie bajo diferentes usos desde hace aproximadamente 25 años. Al inicio, esto permitiría hacer comparaciones periódicas con la finalidad de conocer las tasas y dinámicas de modificación del uso del suelo. Sin embargo, dichos estudios se llevaron a cabo con herramientas tecnológicas distintas y criterios de clasificación de los usos del suelo inconsistentes.

Las fuentes utilizadas que se han examinado los usos del suelo en forma exhaustiva a nivel nacional son la Cartografía de uso actual del suelo y vegetación serie I, elaborada con fotografías aéreas realizadas alrededor de 1976, y la serie II mosaico corregido, preparada con imágenes satelitales de 1993, ambas fuentes realizadas por el INEGI (en lo sucesivo, CUSV 1976 y CUSV 1993, respectivamente). La tercera y más reciente fuente es el Inventario Forestal Nacional 2000 (IFN 2000), es preciso señalar que estas fuentes no son de todo congruentes entre sí, lo que dificulta la estimación de las tasas de cambio (SEMARNAT, 2002).

El uso del suelo en México ha experimentado cambios fundamentales. Entre 1993 y 2000 (con base en CUSV 1993 e IFN 2000) la vegetación silvestre, tanto primaria como secundaria, se perdió a una tasa de más de un millón de hectáreas anuales. Por el contrario, los terrenos dedicados a la ganadería (pastizales) y la agricultura se expandieron. Los pastizales promovidos aumentan anualmente a una tasa del 4.07%, lo que representa unas 800 mil ha. Las tasas de cambio de uso del suelo entre 1993 y 2000 son más elevadas correspondientes al periodo 1976-1993, lo que significa que los procesos se están acelerando (Semarnat, 2002).

Los bosques están desapareciendo a una tasa de 0.79% ó 2,672 km<sup>2</sup> al año. Aunque en algunos estados de la república la superficie arbolada se ha recuperado, como se presenta principalmente a lo largo de la Sierra Madre Oriental, en otras zonas se observan las tasas más elevadas de deforestación, como los localizados en la Sierra Madre Occidental, el Bajío y el centro del país. La actividad responsable de la mayor parte estos cambios es la ganadería, con la consecuente transformación de uso hacia pastizales inducidos y cultivados. Entre 1993 y 2000 se incorporaron a esta modalidad de uso alrededor de 57 mil km<sup>2</sup>, equivalente a una tasa del 4.07% anual. Esta situación es particularmente grave en los estados de la península de Yucatán y menos severa en los estados del Golfo de México, el centro del país y Oaxaca (INEGI y Semarnat, 2001).

La transformación en pastizales es el principal proceso de destrucción de todos los tipos de vegetación. Esto señala a la ganadería como la causa más importante de cambios de uso en el país. La ganadería afecta en mayor medida a la vegetación primaria, mientras que la secundaria sufre un cambio relativamente mayor debido a la agricultura. El papel del ganado es más significativo en los bosques, mientras que en las selvas una proporción mayor de la superficie desmontada se dedica a los cultivos. En los matorrales, la influencia de la agricultura es aún mayor (Semarnat, 2002).

Los procesos que determinan el cambio en el uso del suelo, y el que recibe mayor atención es el caso de la deforestación, que es el cambio de una superficie cubierta por vegetación forestal, hacia una falta de ella. 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. La fragmentación es la transformación del paisaje, dejando algunos parches de vegetación original rodeados de la superficie alterada.

El Altiplano Mexicano es un territorio localizado en la zona central del país. Dentro de esta región existe una amplia diversidad geográfica, ecológica y ambiental, asociada con diversos patrones culturales, procesos de organización espacial y territorial que interactúan en un sistema dinámico complejo. En este espacio geográfico existe una amplia heterogeneidad ambiental (ecotonos, sierras, bosques de coníferas, bosques de latifoliadas, pastizales, embalses, ríos, manantiales y paisajes agrícolas. Es un territorio nutridamente en el ámbito sociocultural con más de 14 asentamientos humanos urbanos (Camacho et al, 2011).

En este contexto, todos los procesos mencionados tienen un denominador común: la alteración acarrea más degradación. Así la vegetación secundaria es deforestada más rápido que la primera, los accesos abiertos para la extracción de maderas preciosas permiten a campesinos y ganaderos colonizar nuevas zonas, la ganadería extensiva provoca erosión, la corta de leña promueve incendios y la vegetación perturbada es mucho más susceptible a las catástrofes naturales (como huracanes, sequias o

incendios) que la vegetación primaria. Esto se debe a que los procesos de alteración interactúan unos con otros en forma sinérgica. Sus resultados pueden ser ignorados en un inicio, pero la sinergia acelera las tasas de cambios hasta desencadenar procesos de deterioro irreversibles. Este proceso se conoce como “cambios catastróficos” (Semarnat, 2002).

De mantenerse estas tendencias del cambio de uso del suelo, la degradación del suelo en las montañas podría incrementarse en el futuro. La población rural se está reduciendo, sin embargo, la inercia histórica del uso del suelo sugiere que la frontera agropecuaria podría seguir creciendo a pesar de la disminución de la población en el campo.



### 3.3. DINÁMICA DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y DE LA COBERTURA FORESTAL

La vegetación natural es una medida básica para conocer el estado ambiental de las cuencas y su capacidad para mantener las funciones y los servicios fundamentales para la sociedad, su eliminación total significa la alteración en los procesos de intercambio del ciclo natural. Por ello, la importancia de considerar el análisis espacial de la vegetación de acuerdo a la disminución en su cobertura vegetal. Lo documentado por Challenger y Dirzo, et al. (2009) quienes mencionan que desde la década de los 40's las selvas húmedas y a partir de los 70 las selvas secas, han sido los ecosistemas más afectados por las actividades humanas. De acuerdo con estos autores, algunos de los factores decisivos en la pérdida de las selvas de nuestro país son el fomento a la ganadería, la producción petrolera y la construcción de presas. Con respecto a los bosques templados mencionan que son el aprovechamiento forestal no sustentable, los incendios forestales y el crecimiento urbano las principales causas de su pérdida y degradación.

En el ámbito social, los bosques tienen una importancia simbólica en el papel cultural y recreativo en muchas sociedades. Los bosques nos proveen diversos beneficios para el medio ambiente y de vital importancia para la contribución de los ecosistemas, a su vez proveen la existencia de bienes y recursos que constituyen un icono cultural inherente a cada territorio; es por ello la importancia conocer la dinámica forestal, ya que los bosques son cruciales en el sostenimiento de la biodiversidad al proveer las bases de las funciones ecológicas que son aprovechadas como servicios ambientales. Desde la perspectiva ambiental la tendencia de perturbación y pérdida de los bosques del mundo, afectan de manera relacionada a la regulación térmica, al ciclo hidrológico, a la captura de carbono, a la protección del suelo de la erosión por el viento y del agua, entre muchas otras funciones para el equilibrio ecológico (FAO, 2015).

La diversidad de bienes que aportan los bosques anteriormente mencionados, ha llevado a que las actividades humanas sean reconocidas como la principal consecuencia de la transformación de la biosfera y la responsable de la mayoría del cambio contemporáneo en los paisajes (Skole et al; Kummer y Turner II, 1994; Meyer y Turner II 1994; Forester et al., 1999). Estas acciones son responsables de la pérdida de un tercio de la cubierta forestal original del planeta. Dentro de esta perspectiva, las áreas forestales que proveen de bosques, constituyen múltiples funciones ecológicas que mantienen el sostenimiento de la biodiversidad al proveer las bases para la vida en la tierra a través de múltiples funciones ecológicas y que pueden ser aprovechadas como servicios ambientales. Con ello, las modificaciones en los ecosistemas son producidos por el mantenimiento del uso del terreno o por la intensificación de su uso, y

la degradación subsecuente de la tierra (Rosete, 2008). Lambin (1997), señala que la mayoría de los cambios ocurridos en los ecosistemas terrestres se deben en tres factores: 1) la conversión de la cobertura natural del terreno, 2) degradación del terreno, 3) intensificación en el uso del terreno. Estos procesos se asocian a impactos ecológicos importantes.

La cubierta vegetal como uso del suelo son elementos importantes para tomar decisiones de uso y manejo de los recursos. Por lo cual, el conjunto de componentes espaciales del paisaje está definido por la combinación de factores biofísicos y socio-económicos. En escala temporal, las actividades humanas que impactan el uso del terreno son el factor clave en la forma que ocurren los cambios del paisaje (Medley et al., 1995; Pan et al., 1999).

Los cambios en la cubierta vegetal, generalmente se asocian con dos aspectos distintos, aunque relacionados: el cambio en cobertura y el cambio en uso del suelo. La cubierta vegetal del terreno se refiere al estado físico en que se encuentra el terreno, contemplando el factor biótico y físico. El uso del suelo tiene una connotación social en que se describe la forma del sistema de manejo en el que el terreno es aprovechado por actividades humanas (Turner y Meyer, 1994).

Se estima que entre el 30-35% del territorio nacional está cubierto por bosque y selvas; México cuenta con gran diversidad biológica producto de la compleja topografía, climas que en conjunto forman un variado mosaico de condiciones ambientales (Conabio, 1998). En particular, las áreas tropicales y de bosque con las zonas donde se encuentra la mayor parte de riqueza de diversidad biológica (calculada en el 10% del total mundial) que existe en México (Benítez y González, 1997).

De acuerdo con el Inventario Forestal Nacional 2000-2001, 32.75% del territorio mexicano está cubierto por bosques y selvas, que corresponden a 63.6 millones de hectáreas. De éstas, 32.9 millones de hectáreas (el 53% del total de los bosques y de las selvas) son bosques de zonas templadas y 30.7 millones (48% del total) son bosques tropicales (INEGI, 1997).

Los bosques templados de pino y encino cubren la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental, las cadenas montañosas al oeste y el este del territorio mexicano, la Sierra Volcánica Transversal y la Sierra Madre del Sur que se extiende a lo largo de las costas del Pacífico en los estados de Guerrero y Oaxaca. En las laderas de la Sierra Madre de Chiapas y en la Maseta de Chiapas al sureste de México se encuentran los bosques de pino y encino que cuentan con mayor número de especies de estos géneros (*Pinus* sp. y *Quercus* sp.) que los de cualquier otro país del mundo. Así como hay cerca de 130 especies de encino y tanto pinos como encinos tienen rangos de endemismo de más del 70% (Castilleja, 1996).

Castilleja (1996) ha dividido las dos principales clasificaciones de vegetación forestal en México, de la Miranda y Hernández, y la de Rzedowski, en el siguiente esquema de clasificación: selvas tropicales (selva alta perennifolia, selva alta subperennifolia, y selva mediana subperennifolia), bosques tropicales

estacionales (incluyendo a los bosques tropicales secos), bosques tropicales de montaña o bosques mesófilos y bosques de encino y coníferas.

Estos bosques contienen gran parte de la biodiversidad que existe en México. Aunque México cubre el 1% de la superficie de la Tierra, contiene aproximadamente un décimo de todos los vertebrados terrestres y de las plantas conocidas por la ciencia. De las cercas 25,000 especies de plantas vasculares y 1352 especies de vertebrados que se encuentran en México, 81% de las especies de plantas y 75% de los vertebrados se ubican en los cuatro tipos de bosque mencionados (Castilleja, 1996).

Alrededor del 80% de los bosques y selvas del país están bajo el régimen de propiedad comunitaria constituidos de 8,500 núcleos agrarios. Las poblaciones que constituyen estos núcleos agrarios están vinculadas directamente con los recursos forestales para la obtención de sus principales medios de ingreso. Adicionalmente, los centros urbanos dependen en gran medida de los servicios ambientales que generan los bosques, como la obtención del agua y filtración de ésta en los acuíferos (FAO, 2004).

Los problemas principales del sector forestal son: inseguridad de la tenencia de la tierra, la carente organización de los ejidos y comunidades como unidades de producción forestal comercial, sobre explotación localizada del recurso, un sector privado con una crisis de competitividad internacional, degradación ambiental y un inadecuado marco institucional y legal para promover la producción forestal sustentable, así como la falta de continuidad administrativa y de políticas (FAO, 2004).

Sin embargo, en décadas recientes los bosques de México se han visto seriamente deteriorados. A mediados de los años 1980, el rango de deforestación en los bosques tropicales mexicanos se estima en 2% anual, sin embargo, estudios regionales mostraron rangos locales que alcanzaban entre 4.3 y 12.4 anuales (Banco Mundial, 1995).

Los rangos de deforestación mencionados incluyen estimaciones de pérdidas anuales de cubierta forestal que varían entre 365,000 y 1.5 millones de hectáreas. El inventario Nacional de Uso de Suelo 2001, realizado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para el INEGI y la Semarnat, indica que el rango de pérdida forestal anual en el periodo 1976-2000 fue de 0.25% para los bosques templados, de 0.76% para los bosques tropicales y de 0.33% para los matorrales. Esto indica una pérdida anual promedio de 86,716 hectáreas de bosques templados, 263,570 hectáreas de bosques tropicales y 194,502 hectáreas de matorrales (Velásquez et al., 2002).

Las principales causas de esta deforestación han sido la expansión de la agricultura y la ganadería (Barbier y Burgess, 1996) relacionadas con los procesos de colonización. Al igual los factores sociales como la densidad de población, crecimiento demográfico, incremento de la producción de alimentos, los altos precios de los productos agrícolas de exportación y la producción de materias primas. En efecto, y

desde la perspectiva ambiental, la tendencia de perturbación y pérdida de los bosques del mundo, afectan de manera estrecha la regulación térmica, el ciclo hidrológico, y la captura de carbono, etc.

En consecuencia, al deterioro ambiental y de la transformación drástica de los ecosistemas forestales, se han adoptado políticas de conservación y de la creación de áreas naturales protegidas (ANPs). Sin embargo, las ANPs, no asegura la permanencia del capital forestal, es por ello que se plantea la necesidad de desarrollar esquemas de manejo forestal sustentable, así como la aplicación de tareas de conservación.

Actualmente los bosques están bajo presión por la expansión de poblaciones humanas, lo cual comúnmente lleva a la conversión o degradación de bosques a situaciones insostenibles en el uso de suelo (CONAFOR, 2005). Cuando los árboles se pierden o se degradan severamente, su capacidad como reguladores del ambiente también se pierde, incrementando las inundaciones y el peligro de erosión, provocando una reducción de la fertilidad de tierras, y contribuyendo a la pérdida de vida de plantas y animales.

Como resultado, el abastecimiento sostenible de bienes y de servicios de los bosques se encuentra en riesgo. Estas condiciones se han generado por la actividad del hombre que ha sido el principal causante de la transformación de los ecosistemas forestales (Denman et al; 2007), superando por mucho a eventos naturales. Las acciones humanas son responsables de la pérdida de un tercio a casi la mitad, de la cubierta forestal original del planeta. Esto implica el deterioro de la vegetación nativa inherente a los ecosistemas autóctonos y disminución de los múltiples bienes y servicios que éstos proporcionan (CIFOR, 2009).

De igual manera, es importante realizar un diagnóstico de los problemas ambientales ligado a un análisis de los factores ecológicos, políticos y económicos que intervienen en la transición forestal de una región. Chomitz (2007) argumenta que hay una relación entre la deforestación y la pobreza. Los bosques albergan la mayoría de habitantes de bajos recursos dentro de las zonas forestales y en donde se centra una tasa de mayor deforestación. Los bosques sufren una gran presión en dichas áreas marginadas. La población de bajos recursos necesitan leña, y las industrias requieren de madera. La explotación reduce los bosques y los degrada, ayuda a obtener financiamiento a agricultores y empresarios, quienes queman y talan arboles sin valor comercial para destinar dichas tierras a la agricultura. Sin embargo, esto no quiere decir que las zonas más boscosas son las pobres, existen diversos factores, las zonas alejadas tienen una gran parte forestal con elevadas tasas de deforestación, pero hay que tener en cuenta que generalmente se tiene una baja densidad de población en estas zonas.

Es preciso diferenciar los bosques de acuerdo a la deforestación, al grado y profundidad de pobreza ya a las consecuencias ambientales de su conversión para así plantar soluciones y políticas adecuadas para mitigar el problema. Chomitz (2007) clasificó tres tipos generales de bosques:

- Mosaicos de bosques y tierras agrícolas: la propiedad de la tierra es mejor definida, la densidad demográfica es mayor y los mercados están más próximos. La ordenación del bosque no puede (en ciertos casos) competir con la agricultura o las plantaciones forestales. En estas zonas los bosques son poco densos con tasas de deforestación elevada. Su biodiversidad se ve amenazada.

- Zonas de frontera y en litigio: Las presiones por deforestar y la degradación se ven marcadas y en aumento, el control del suelo es inseguro y se encuentra en conflicto.

- Zonas situadas más allá de la frontera agrícola: Hay grandes extensiones de bosques y pocos habitantes (en su mayoría indígenas) y cierta presión sobre los recursos madereros.

Obteniendo identificados las etapas y sus características, podemos decir que las condiciones locales, los incentivos y limitaciones determinan el por qué y en dónde ocurren procesos de deforestación. De igual forma, se debe tener en cuenta que los propietarios y los reclamantes de tierras toman decisiones acerca de su utilización de acuerdo a cuestiones culturales, económicas y jurídicas. Para algunas personas la agricultura puede ser un uso de tierra más rentable y atractivo que la sustentabilidad de los bosques. Los bajos salarios, suelos fértiles, clima y aumento de precios en productos agrícolas son factores importantes que motivan la deforestación.

La deforestación puede privar de recursos a los habitantes de regiones marginadas, aunque pueden proporcionarles ingresos provenientes de cultivos comerciales. Es probable que los habitantes de los bosques no aprovechen los recursos forestales, consiguen gran parte de sus ingresos de la recolecta de leña, alimentos y otros productos.

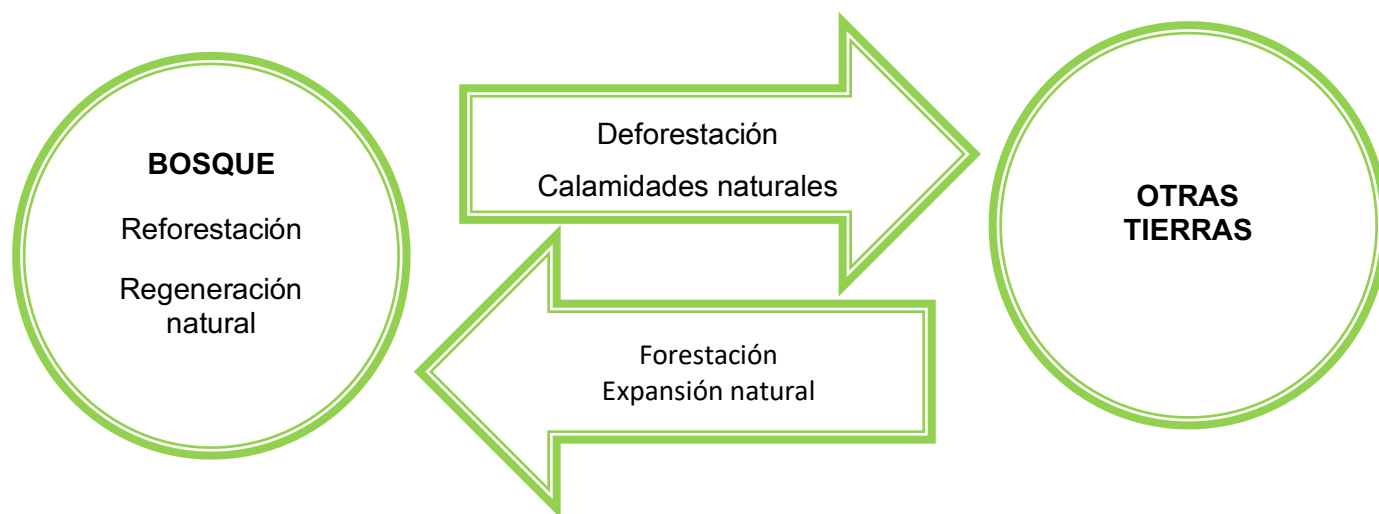
El problema más serio se presenta cuando las tasas de deforestación históricas subestiman o sobrestiman sistemáticamente la tasa de deforestación en el escenario de prácticas habituales. El área forestal (o cambio de la misma) puede seguir el patrón sugerido por la Teoría de la Transición Forestal (Mather 1992; Angelsen 2007). En un inicio, el país se caracteriza por tener una gran cobertura forestal y bajas tasas de deforestación. Luego, los ritmos de deforestación se aceleran, se aminoran, la cobertura forestal se estabiliza y eventualmente comienza a recuperarse. Es de esperar que en las primeras etapas de transición los niveles de cobertura forestal sean altos y tasas de deforestación bajas pero que se están acelerando; en otros casos se observan tasas altas de deforestación y se espera que disminuyan a medida que el bosque vaya desapareciendo.

Estas etapas de transición forestal, refleja los cambios a lo largo del tiempo a partir de las rentas derivadas de la agricultura y el bosque. Por consiguiente, se obtiene el aumento de la urbanización y de los salarios, la población rural abandonarán las tierras marginales de las orillas de los bosques, lo que detendrá la deforestación y en algunos casos, dará paso a un rebrote y recuperación de bosques.

Por último, la recuperación de los bosques es condicionada por la presencia de uso de suelo, tales como la ganadería, agricultura o el componente de bosques en estado de barbecho, y cada vía tiene diferentes implicaciones para la estructura del bosque y su composición. Es evidente que en la mayoría de los casos lo que se está perdiendo es bosque maduro y lo que inicialmente se está recuperando es bosque secundario joven. Por lo tanto, la recuperación de la cubierta forestal no debe ser utilizada para justificar la tala de bosque. Sin embargo, la realidad de las tendencias de crecimiento de los bosques es una parte importante en la historia de la dinámica forestal.

Es común que los conservacionistas ignoren o resten importancia a los procesos de regeneración del bosque. Por ejemplo, un reciente estudio global de los procesos de cambio de la cubierta forestal menciona que grandes áreas no forestales tomaron lugar de terrenos de bosque, pero estas áreas de rebrote son en su mayoría jóvenes y se ubican en los terrenos abandonados, junto con algunas plantaciones forestales. Ambos son muy diferentes de los bosques naturales en términos ecológicos, biofísicos y económicos y, por lo tanto, no son un contrapeso adecuado a la pérdida de madurez forestal. Estos bosques son también importantes en términos de captura de carbono y otros servicios ecológicos; así mismo están conectados con las masas forestales más grandes que la biodiversidad de la fauna podría también recuperarse (Casillas & Romero, 2012).

**Figura 3.1. DINÁMICAS QUE DETERMINAN LOS CAMBIOS EN EL BOSQUE**



*Figura 3.1. Dinámicas de los Cambios del Bosque. Fuente: FAO, 2006.*

*Muestra un modelo simplificado que ilustra la dinámica de los cambios forestales. Cuenta con dos clasificaciones: bosques y otras tierras. La reducción de la cubierta forestal puede operar por dos fenómenos distintos; la deforestación a causa de la acción humana, la tierra se destina a otro uso de suelo. Por otro lado, los fenómenos naturales también deforestan al bosque.*

### 3.3.1. CAUSANTES DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO Y DE COBERTURA FORESTAL

La situación de la biodiversidad y los ecosistemas del país ha manifestado un impacto antropogénico a lo largo del tiempo. Sin embargo, en épocas más recientes durante los siglos XIX y XX, el cambio de la biodiversidad se manifiesta en factores sociales, económicos y políticos (Challenger; Dirzo et al. 2009). Estos incluyen cambios en la cobertura forestal y el uso del suelo.

Desde comienzos del comercio internacional de los siglos XVI al XIX, la interacción humana con el medio natural ha conducido a la extracción y transformación de los recursos naturales y al cambio del uso del suelo, lo que lleva a la deforestación y fragmentación de los ecosistemas para usos agropecuarios, industriales y urbanos, con el fin de atender las demandas de la población humana en crecimiento, y más recientemente hacia una economía de mercado y cada vez más globalizada (Masera et al. 1997; Challenger 1998).

En el análisis de las tendencias de cambio en la biodiversidad por lo general se consideran dos indicadores principales: la cobertura de la vegetación y la extinción biológica, principalmente en la pérdida de especies (Wilson y Peter 1988; Leaky y Lewin 1996; Conabio 1998; Myers et al. 2000; Myers y Knoll 2001; Kareiva y Marvier 2003). Así mismo, otros factores próximos que incluyen la degradación y fragmentación del hábitat, la alteración de la composición de especies, los procesos ecológicos, y con la mayor injerencia, la intervención antropogénica causantes del deterioro ambiental.

El estado de biodiversidad actual, en específico la terrestre, en diversos discursos científicos se justifica la afirmación de que estamos frente a una de las manifestaciones histórica de cambio de la biodiversidad con la acelerada tendencia global de deterioro antropogénico.

El BA se ve amenazado principalmente por el crecimiento urbano de La Ciudad de México a un ritmo de casi una hectárea diaria en los últimos 60 años, así como por la existencia de caminos y carreteras que ha favorecido a la formación de asentamientos urbanos en la región. El BA tiene el desafío de conservar más de 120 mil hectáreas que incluyen los parques nacionales de La Marquesa, el Ajusco, el Desierto de los Leones, las Lagunas de Zempoala y el Tepozteco. Otras de sus amenazas de esta región es la conversión del bosque en zonas de cultivo y ganadería, los incendios forestales y la extracción del suelo para su venta (Greenpeace, 2006).

De acuerdo con el INEGI, la población del Distrito Federal y su zona metropolitana pasó de 1 millón 654 mil habitantes en 1940, a 17 millones 787 mil habitantes en el año 2000. Este aumento en la población se refleja en el crecimiento de la mancha urbana de la Ciudad de México y de la zona conurbada, la cual aumentó 8.5 veces su tamaño en el mismo periodo, pasando de ocupar una superficie de 57 mil 660 hectáreas a 492 mil 500 hectáreas (INEGI, 2005).

Entre los años 1940 y 2000, la zona urbana del Distrito Federal aumentó más de doce veces su tamaño. Aunque inicialmente este crecimiento se dio hacia los municipios conurbados en la década de 1960 la mancha urbana se expandió hacia el sur y el poniente, en las delegaciones de Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco y, posteriormente, a Milpa Alta. En la década de 1970 la mayor parte del crecimiento urbano se presenta sobre el suelo de conservación que compromete la existencia del bosque (PAOT, 2003).

La expansión de los pueblos hacia áreas rurales, el establecimiento de asentamientos irregulares, el desarrollo inmobiliario de la clase media y alta y los mega desarrollos comerciales, agrava las zonas rurales y forestales debido a estas prácticas de ocupación de uso del suelo (Greenpeace, 2006).

El crecimiento de la mancha urbana sobre áreas rurales y boscosas implica un cambio irreversible. Los asentamientos irregulares se establecen, principalmente, en las áreas destinadas a la agricultura y los pastizales. Esto obliga a los campesinos y agricultores a transformar las zonas boscosas en tierras aptas para la introducción de cultivos. Así, en el Distrito Federal, entre 1994 y 2000, las zonas urbanas ubicadas en zonas boscosas y rurales tuvieron un incremento de 7.3%, mientras que las áreas agrícolas aumentaron 0.5% y los bosques disminuyeron a un ritmo de 400 hectáreas por año (PAOT, 2003). Es decir, el crecimiento de las zonas urbanas presiona a las áreas agrícolas, las cuales se ven obligadas a avanzar sobre el bosque.

No sólo los recursos naturales son afectados por el crecimiento urbano, además las comunidades y ejidos que poseen estos bosques han sido perjudicados por la expansión de la ciudad sobre las tierras. De las 54 mil 400 hectáreas que constituían las tierras comunales en el DF actualmente quedan menos de 34 mil hectáreas. Esta presión existe legalmente en 22 ejidos y comunidades, pero carecen de tierras (SEDEMA, 2003). Debido a que el crecimiento urbano se sigue expandiendo sobre el suelo natural, lo más preocupante es que dicho crecimiento se genera en la región de Bosques y Cañadas, lo cual es por los siguientes factores (Rosique-Cañas, 2016):

1. Alteración de hábitats: cambio de ecosistemas naturales a agroecosistemas que alteran suelos y recursos hídricos e insumos artificiales.
2. Sobreexplotación: extracción de fauna y flora a una tasa mayor de la que puede ser sostenida por la capacidad reproductiva natural.



3. Contaminación química: se refiere a los desequilibrios ecológicos producidos por sustancias tóxicas provenientes de fuentes industriales.
4. Cambio climático: son los cambios en los patrones regionales de clima, como el incremento de dióxido de carbono que produce alteraciones regionales.
5. Especies introducidas: en muchos casos han reemplazado a las especies nativas.
6. Incremento de la población: se produce invasión de los suelos de conservación para vivienda, mayor demanda de bienes y servicios.
7. Sequías, inundaciones, incendios, vulcanismo, sismos, etcétera.

En este contexto, resulta desconcertante la planeación de proyectos de construcción de carreteras en el centro del bosque de agua, que a su vez promueve el crecimiento urbano sobre una de las zonas de mayor importancia para la captación de agua y recarga de los mantos freáticos (Greenpeace, 2006).

**Figura 3.2. USO DE SUELO Y VEGETACION DE LA ZONA METROPOLITANA DE MÉXICO**

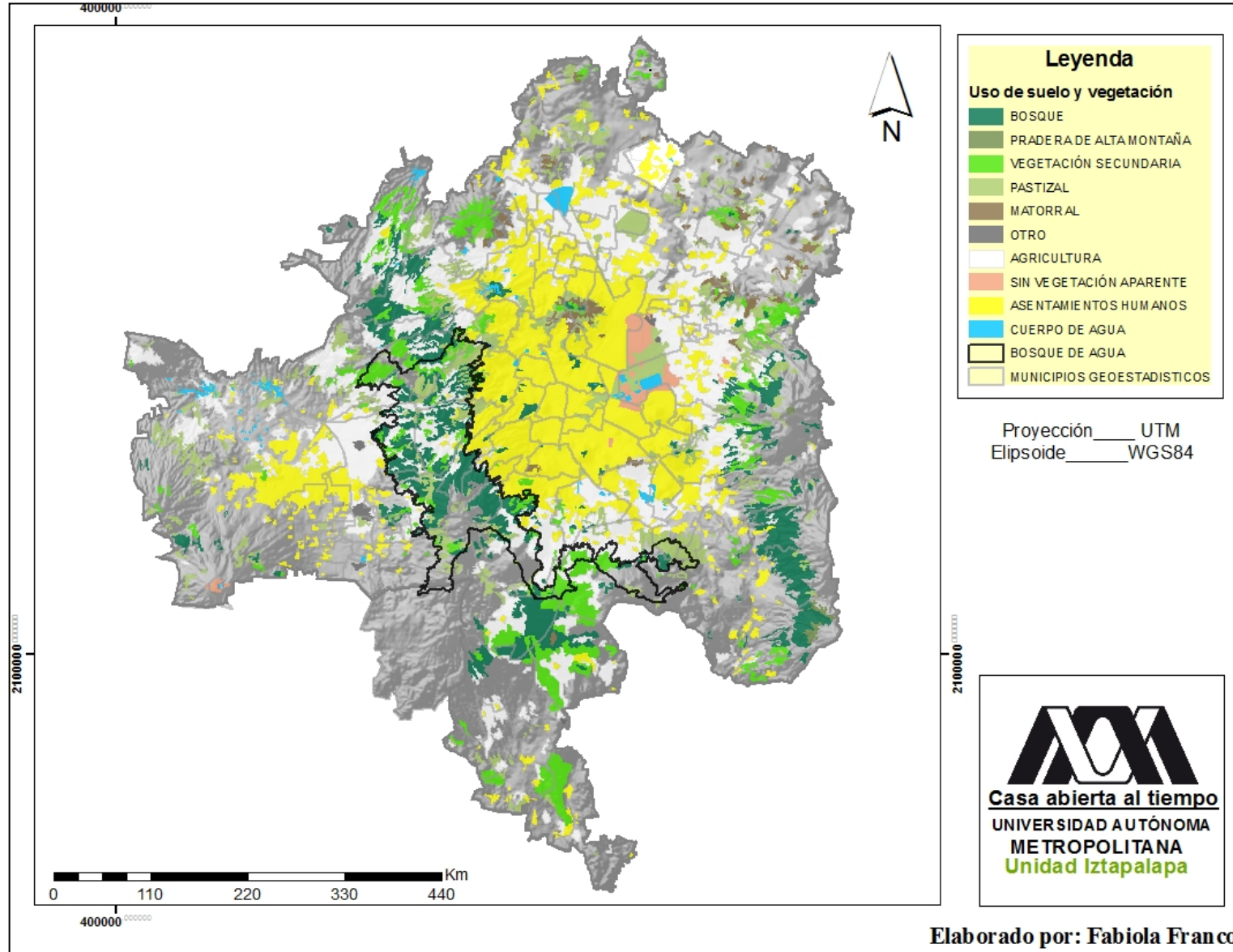


Figura 3.2. *Uso de Suelo y Vegetación de la Zona metropolitana de México.* Elaboración propia. Fuente: INEGI, Continuo Nacional del Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos Escala 1: 250 000, serie II.

### 3.4. PRINCIPALES PROCESOS DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL EN LA REGIÓN BOSQUE DE AGUA

El análisis de los datos para las categorías de cobertura se realizó mediante la separación de categorías, puesto que hace la diferenciación del origen o etapa de las comunidades vegetales agrupadas con criterios de agrupación del porcentaje de los conglomerados para estimar el valor promedio de cobertura arbórea. En este sentido, los procesos de cambio de la cobertura forestal se tienen que determinar si la eliminación de árboles en un área es deforestada, o si nuevos árboles se establecen en el suelo en un periodo a largo plazo de regeneración (reforestación). En caso contrario, si una densidad suficiente de árboles no se establece en un futuro relativamente cercano, o si la tierra es convertida a otro uso de suelo, el área se considerará como deforestada.

La degradación y la mejora de los bosques ocurren en bosques en donde se mantiene por encima del 10% de umbral del dosel arbóreo. La reforestación ocurre cuando los bosques vuelven a crecer después de haber tenido un umbral de dosel menor al 10 por ciento, pero fueron considerados como bosques en este tiempo. La deforestación y la aforestación representan las transferencias entre los bosques y otras clases de uso de tierra. Los factores implicados que se aborda en esta investigación son los de recuperación y de alteración en su contraparte, así como en los siguientes factores:

#### Cambio de uso de suelo:

Son las áreas de bosque convertidas a la agricultura, pasto, reservas de agua y áreas urbanas (FAO, 2010). Dentro de este estudio se consideró toda la tierra que no ha sido clasificada como “bosque” u “otras tierras boscosas”. Entre las principales causas de la deforestación en México se encuentra los cambios de uso del suelo para destinarse actividades como ala agropecuaria, así como el desarrollo urbano y de infraestructura. Adicionalmente, la tala clandestina y los incendios forestales vuelven más susceptibles a los predios forestales de sufrir cambio de uso de suelo.

Las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conocen como usos del suelo (Semarnat, 2010). Desde la geografía, los tipos de usos de suelo y su grado de explotación influyen en el paisaje y al modificarse ocasionan cambios en los usos del suelo; estos cambios son de ámbito de investigación ambiental actual, debido a las implicaciones con la pérdida de hábitat, biodiversidad, bienes y servicios ambientales y la capacidad productiva de los ecosistemas (Fernández Núñez y Prados Velasco, 2010).

### Bosques:

Son tierras con más de 0.5 hectáreas, con una cubierta de copa arbórea de mayor o igual al 30%, el cual no está principalmente bajo uso agrícola o urbano. Los bosques se determinan por la presencia de árboles, los árboles deben alcanzar una altura mínima de 5 metros in situ. Áreas bajo reforestación que aún no han alcanzado una densidad de corona del 10 % o una altura de metros también se incluye. No incluye las tierras de uso predominantemente agrícola o urbano (FRA, 2010).

Para fines de la evaluación de la cobertura forestal, se considera a la vegetación arbórea de origen septentrional principalmente de clima templado y semifrío, con diferentes grados de humedad, propias de las regiones montañosas (Bosque de Agua), a lo largo de la Franja Volcánica Transversal.

### Cubierta forestal:

El porcentaje de tierra ocupado por la proyección horizontal del perímetro más externo de la extensión del follaje de las plantas. (También conocida como cierre de cubierta). Equivalente a cobertura de copa (GIEC. 2003. Good Practice Guidance for LULUCF – Glosario inglés de USCUSF).

La detección de cubierta forestal está relacionada a la diversidad biológica producto de la compleja topografía, la variedad de climas y de la conexión de dos zonas biogeográficas (neártica y neotropical) dentro de la región, que en conjunto forma un variado mosaico de condiciones ambientales” (CONABIO, 2010). En particular las áreas de bosque con las zonas donde se localiza la mayor parte de la riqueza de diversidad biológica.

### Degradación forestal:

Es un proceso de disminución de la capacidad de los ecosistemas forestales para brindar servicios ambientales, así como capacidad productiva (reforma a la LGDFS 2012). En la degradación se considera que los bosques pierden o reducen su capacidad para proveer servicios ecosistémicos o sufren cambios mayores en su composición de especies (Sasaki y Putz 2009).

El indicador de degradación forestal es fundamental para el seguimiento de las alteraciones que se producen en la biodiversidad, la medición para detectar la degradación es complejo, ya que se manifiesta como una forma leve de cambio de bosque. La degradación se detecta al cambio en el bosque que afectan de manera negativa a la estructura o la función de masa forestal, reduciendo su capacidad para suministrar productos y/o servicios. Dentro de este estudio, el criterio principal de degradación es la disminución de la cobertura vegetal, pero manteniéndose por encima del 30% de la copa correspondiente a la definición de bosque.

### Deforestación:

La conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra, o la reducción de la cubierta de copa, a menos del límite del 10 por ciento. Implica la pérdida permanente de la cubierta de bosque e implica la transformación en otro uso de la tierra. Dicha pérdida puede ser causada y mantenida por inducción humana o perturbación natural. La deforestación incluye áreas de bosques convertidas a la agricultura, pasto, reservas de aguas y áreas urbanas (FAO, 2010).

La deforestación también incluye las áreas en donde, por ejemplo, el impacto del disturbio, la sobreexplotación o las condiciones ambientales que cambian, afectan el bosque de manera tal que este no puede albergar una cubierta de copa superior al umbral del 10 por ciento.

### Forestación:

El establecimiento y desarrollo de vegetación forestal en terrenos preferentemente forestales o temporalmente forestales con propósitos de conservación, restauración o producción comercial (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2003). También se define como, establecimiento de bosque mediante plantación y/o siembra deliberada en tierra que, hasta ese momento, no ha sido clasificada como bosque (FRA, 2010). Así como, se identifica la repoblación, mediante siembra o plantación, de un terreno que era agrícola o estaba dedicado a otros usos no forestales.

### Reforestación:

Restablecimiento de bosque mediante plantación y/o siembra deliberada en tierra clasificada como bosque (FAO, 2010). Así mismo, se clasifica como el establecimiento inducido de vegetación forestal en terrenos forestales (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2003).

Conjunto de actividades que comprende la planeación, la operación, el control y la supervisión de todos los procesos involucrados en la plantación de árboles (CONAFOR, 2010). Para la aplicación de este análisis se considera a la reforestación a la restauración de bosques degradados.

### Densificación:

Proceso de ganancia de densidad de cobertura forestal a través de la expansión del bosque de la sucesión natural en la superficie que, hasta ese momento, pertenecía a otra categoría (FAO, 2010). Asimismo, es el proceso de aumento de la capacidad de los ecosistemas forestales para brindar bienes y servicios ambientales, así como capacidad productiva (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, 2012).

Conocer los procesos de cambio de uso de uso dentro de áreas forestales tiene como finalidad conservar los ecosistemas existentes en el país, como lo señala la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEyPA). Considerando que los cambios en la cobertura y uso afectan los sistemas globales (por ejemplo, atmosfera y clima), dichos cambios ocurren de modo localizada que en buena medida se reflejan en la cobertura vegetal, motivo por el cual se toman como referencia para algunas aplicaciones que van desde el monitoreo ambiental, la producción de estadísticas como apoyo a la planeación, evaluación del cambio climático y la evaluación de los procesos de desertificación, entre otros (INEGI, 2015). No obstante, a pesar de las estrategias de conservación para la disminución del deterioro de los bosques, la pérdida de la cobertura forestal sigue en aumento debido a la deforestación de los bosques para la producción de tierras agrícolas y a la intensa demanda de productos forestales.

### 3.5. CAMBIO DEL USO DE SUELO EN LA REGIÓN BOSQUE DE AGUA

El crecimiento urbano en los últimos cincuenta años, ha sido un fenómeno social y demográfico con gran impacto sobre el ambiente. La urbanización son las transformaciones más radicales, ya que es uno de los impactos más agresivos acompañado de problemas ambientales sobre los ecosistemas naturales originales generando un nuevo ambiente: la ciudad, que se caracteriza por concentrar una alta densidad de población, sustentada por la inmigración del campo a la ciudad, y de poblados y urbes pequeñas a centros y metrópolis importantes; mientras a lo ambiental se destacan la fuerte demanda y entrada de energía y recursos naturales para su funcionamiento y existencia y, como consecuencia la salida de productos elaborados y una gran cantidad de desechos (Alberto, 2009).

En este sentido, el territorio es un recurso natural limitado, se entiende como un espacio donde se desarrollan las actividades sociales, como la agricultura, la ganadería y el urbanismo que generan problemas de erosión, fragmentación y compactación sobre la superficie (Ortega et al., 2013).

Debido a que la urbanización es un proceso territorial y socioeconómico que induce una transformación radical de la cobertura y del uso del suelo (Weber y Puissant, 2003). Constituye la causa de mayores cambios sobre el medio ambiente, y por lo tanto, está íntimamente ligado al incremento de los problemas ambientales y de los riesgos a fenómenos naturales. La urbanización acelerada cambia la estructura de las ciudades y afecta su climatología y la de su área circundante (Tang et al., 2008).

El crecimiento urbano, propio de los centros de población, se incrementa constantemente debido a la inmigración del campo a las ciudades, generando una fuerte demanda de energía y de recursos naturales para satisfacer las necesidades de la ciudad, su funcionamiento y existencia, generando, además, desechos que contaminan y menoscaban la calidad del suelo, aire y agua. Así como, propicia asentamientos humanos en zonas de riesgo ambiental, convirtiendo a los factores ambientales en zonas de pobreza (Alberto, 2009).

Las actividades humanas han provocado las principales transformaciones ambientales y el crecimiento de las ciudades representan uno de los principales responsables de gran parte de esos cambios, entre ellos los que se refiere a cambios del suelo. El crecimiento urbano ejerce una enorme presión sobre el territorio y de sus recursos naturales, lo que afecta la calidad de vida de las personas y la sostenibilidad general de la región (López y Wenseslao, 2009).

Los efectos e impactos ambientales derivados por los cambios del uso de suelo son la fragmentación, pérdida de cobertura vegetal, la erosión, compactación del suelo, pérdida de fertilidad, contaminación del agua de los acuíferos, pérdida de humedad en los suelos por la reducción de bosques y la pérdida de tierras de cultivo (Alvarado et al., 2011). El crecimiento de las ciudades y de la urbanización, el suelo experimenta un incremento de depósitos de todo tipo de residuos, estos se pueden retener y acumular durante años, que durante el paso del tiempo y con cualquier alteración en el suelo, esos contaminantes se pueden manifestar con mayor intensidad (Zapata, 2012).

Cuando se presenta un cambio de uso del suelo de manera inadecuada, por ejemplo, de un uso silvícola a un uso agrícola o un uso silvícola a un uso pecuario se propicia un deterioro en la capa protectora del suelo, el agua al circular sobre la superficie del suelo lo erosiona y genera un cambio de relieve y éste adopta otras formas como láminas, surcos, barrancos, islotes y pináculo. Dependiendo de la gravedad del cambio, los horizontes superficiales o parte de estos pueden llegar a perderse, que dando en algunos casos expuesta la roca (Alvarado et al., 2011).

La expansión metropolitana actualmente tiene una nueva dinámica, en la que la tasa de crecimiento de las ciudades disminuye, la concentración económica se mantiene y la incorporación de municipios contiguos continúa, con límites y fronteras difusos que hoy se caracteriza por ser un espacio fragmentado (Corona, 2016).

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México es un ejemplo de esta dinámica. Al estar ubicada en la región central del país, se convirtió en un polo de atracción, la cual se concentró principalmente en el Estado de México y el Distrito Federal (ahora Ciudad de México) (Corona, 2016).

En este sentido, la mancha urbana de la Cuenca de México conlleva la pérdida del arbolado como tema importante para la supervivencia de los ciudadanos donde la invasión de la mancha urbana pone en riesgo y en situación de vulnerabilidad a los habitantes de la metrópoli. Cuando la expansión física de la ciudad no ocurre de manera planificada, a lugar a ciudades fragmentadas que las hacen vulnerables a cualquier perturbación del ambiente (Corona, 2016).

En general, tratar de entender y explicar el fenómeno sobre el crecimiento y dinámica de las ciudades, se ha estudiado diferentes tipos de factores que algunos solo identifican el crecimiento demográfico, otros solo factores de tipo físico como la pendiente y altitud del terreno. Sin embargo, esto depende en gran medida aspectos particulares de la ciudad y del territorio, como la ubicación geográfica respecto a la dinámica económica, política, social de la región y de las condiciones naturales. Por tanto, la utilización de patrones e impactos del territorio en relación el impacto ambiental es de suma importancia la integración de información de tipo socioeconómica y física, con métodos estadísticos multicriterio



procesado en SIG para el análisis que disponga el investigar y definir los rasgos del crecimiento urbano sobre las regiones de vegetación en uso de conservación (López y Wenseslao, 2009).

Ante la situación del crecimiento urbano, la amenaza que enfrenta el Bosque de Agua es el avance de la mancha urbana, particularmente de la Ciudad de México. De acuerdo con la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del DF (PAOT), en los últimos 60 años la zona urbana ha crecido alrededor de una hectárea al día.

Por consiguiente, la SC se encuentra rodeada por tres grandes zonas metropolitanas: ZMVT al oeste, con casi dos millones de habitantes; ZMVM al este, con más de veinte millones de habitantes; y ZMC al sureste, con cerca del millón de habitantes en el año 2010. En suma, representan una población estimada de 22 859 352, misma que se distribuye en un sistema megalopolitano de forma heterogénea, donde básicamente tenemos ubicado geográficamente enclavada a la SC.

La interacción de éstas tres megalópolis, sumando a otros centros urbanos de carácter metropolitano como Puebla-Tlaxcala, Pachuca, Querétaro, en conjunto son ciudades ubicadas en la región del Altiplano Central, que en términos territoriales se denomina megalópolis, mismas que están inmediatas al ecosistema de estudio (Pradilla, 1998).

El crecimiento de población, la expansión de zonas urbanas, la demanda de grandes cantidades de recursos naturales e insumos por las actividades socioeconómicas, la presión de asentamientos irregulares sobre áreas agrícolas y forestales, la consolidación industrial por medio de canales de comunicación como las que atraviesan la Sierra y la falta de apoyos a la producción agraria ejidal y comunal son factores que hay que considerar como parte de su transformación y deterioro socioambiental para el BA (Barrera, 2012).

### 3.6. DEFORESTACIÓN

La deforestación y otros cambios de uso de suelo son las principales causas de pérdida de los recursos forestales y degradación ambiental en escalas locales, regionales y globales (Galicia, 2007). Estos procesos son causados por factores tecnológicos, económicos, políticos, sociales y culturales.

En la Declaración de Durban (Congreso Forestal Mundial, 2015), se resaltó la importancia de los bosques para el cumplimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, con la premisa de alcanzar la seguridad alimentaria, ya que proveen a la sociedad de alimentos, así como una fuente de ingresos y de empleo, además de contribuir al ejercicio de una agricultura sostenible, mediante la estabilización de los suelos, del clima y la regulación de los flujos de agua. También los bosques aumentan la resiliencia tanto del ecosistema como de la sociedad que al mismo tiempo proporcionan otros servicios ambientales. Por la cual, son una alternativa de solución a los problemas relaciones con el cambio climático y a la mitigación de sus efectos (Zamora, 2016).

La deforestación y la degradación de los bosques son unas de las causas principales de pérdida de biodiversidad, de incremento de emisiones de carbono y de otros gases de efecto invernadero (GEI) (Simula, 2009; Sasaki et al. 2011; Budiharta et al. 2014). Sin embargo, en los últimos años mientras las deforestaciones se han visto reducidas en muchos países, la degradación de los bosques ha aumentado (Budiharta et al. 2014).

En este contexto, es de suma importancia mantener y, en lo posible, incrementar la superficie forestal, toda vez, que las presiones resultantes del crecimiento de la población se encuentra en aumento, con la consecuente demanda de alimentos. Todo ello, incide en un constante cambio uso de suelo que conlleva a la transformación de terrenos forestales a zonas agropecuarias, fenómeno que hasta finales del siglo XIX prevaleció en las regiones de clima templado; sin embargo, en la actualidad la deforestación es más alta en las zonas tropicales (Zamora, 2016).

En América Latina la agricultura comercial origina el 70% de la deforestación. Cabe mencionar que en el último quinquenio (2010-2015), en el mundo, la disminución de los ecosistemas forestales se ha compensado, de alguna manera, por la combinación de dos factores: la reconversión de terrenos agrícolas abandonados y el establecimiento de plantaciones forestales. Aunque la tasa de pérdida neta de bosques a nivel mundial ha descendido en el periodo 2010-2015 (FAO, 2015), la deforestación continúa siendo preocupante.

La FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations), a petición de países y de la comunidad mundial, vigila los bosques del mundo a través del Programa de Evaluación de Recursos Forestales. FAO ha desarrollado e implementado términos y definiciones globales de varios parámetros del bosque desde la primera evaluación mundial en 1947. Los términos aplicados en FRA 2000 son construcciones que nos ayudan a entender y describir los bosques del mundo, y como este cambia a través del tiempo.

Conforme al párrafo anterior, la FAO define la deforestación como la transformación del bosque en otro uso de la tierra o reducción, a largo plazo, de la cubierta de copa por debajo del umbral mínimo del 10 por ciento. También la FAO, especifica que la deforestación implica la pérdida duradera o permanente de la cubierta forestal y la transformación del bosque en tierras dedicadas a otros usos. Asimismo, dicha organización evalúa el estado de los bosques del mundo, así como su ordenación y sus usos, a través del Programa de Evaluación de los Recursos Forestales.

Así mismo, la deforestación implica la pérdida de cobertura forestal a largo plazo o permanente e implica la transformación en otro uso de la tierra. Esta pérdida solo puede ser causada a través de la perturbación natural o por la acción del hombre. La deforestación comprende, por ejemplo, áreas de conversión de bosque a agrícola, pastizales, reservas de agua y áreas urbanas. La deforestación también incluye áreas en que la utilización excesiva o cambios en las condiciones ambientales, influye en extensiones que tienen menos del 10% de cobertura forestal, por ejemplo, áreas quemadas donde las condiciones de la tierra y las quemaduras recurrentes a un largo plazo previenen una recuperación de bosque.

La deforestación y la degradación de bosques son procesos y conceptos diferentes. La deforestación, es vista como la disminución de la cubierta de bosques, en el caso de Latinoamérica, el resultado de este proceso es la expansión de la frontera agrícola, la tala ilegal, los incendios forestales y agropecuarios, los proyectos de infraestructuras y la extracción de minerales. En cambio, y a diferencia de la deforestación, la degradación es un proceso de conversión de cobertura boscosa a no boscosa y deriva en una pérdida de algunas funciones de los bosques que llega a ser irreversible. "En la degradación se considera que los bosques pierden o reducen su capacidad para proveer servicios ecosistémicos o sufren cambios mayores en su composición de especies, provocando afectaciones a nivel social, cultural y ecológico" (Sasaki y Putz 2009). Si bien, se trata de conceptos diferentes, existe una relación entre deforestación y la degradación de los bosques. En muchos casos la degradación es un precursor de deforestación, aunque en otras ocasiones los bosques pueden permanecer degradados durante mucho tiempo sin llegar al estado de deforestación (Simula 2009; Tarrasón et al. 2010).

Las causas de la degradación de bosques podrían darse también por perturbaciones naturales como por ejemplo huracanes o vientos o la caída de un árbol. No obstante, los factores antrópicos que de manera directa o indirecta aceleran este proceso. Los factores indirectos suelen ser de tipo económico, institucional, políticas nacionales que promueven la expansión de la agricultura, la ganadería, la minería y las infraestructuras. Los procesos directos son los incendios de origen antrópico, la tala selectiva o la sobreexplotación de algún recurso que se presentan más comúnmente reportadas como origen de degradación de bosques (Lund, 2009; Simula, 2009; Bustamante et al., 2015). Finalmente, las características biofísicas del sitio donde ocurren las perturbaciones y también la gobernanza o gestión de los bosques en la zona, al igual influyen el proceso de degradación y en la diferenciación de diversos grados de degradación (Lund, 2009).

Así mismo, el término de deforestación indica al cambio en el uso previsto, de forestal pasa a ser no forestal (urbano, agrícola, etc.) y que es preciso diferenciar de la corta de troncos seleccionados. A escala mundial, la deforestación ocurre en la mayor parte de los países (por ejemplo, en el caso de la remoción de cubierta forestal cuando la tierra se destina a usos urbanos), pero una superficie considerable de tierras también regresa al bosque, ya que sea naturalmente ya sea a través de la siembra o la plantación. Por lo general, se trata de superficies que antes habían sido tierras agrícolas o pasturas y que han dejado de cultivarse. Por consiguiente, el cambio mundial neto de cubierta forestal equivale a la suma de todos los cambios, positivos o negativos, sufridos por la superficie forestal (incrementos o decrementos).

En tanto la degradación forestal constituye una imagen de árboles delgados de un bosque degradado y sin valor comercial. Se propone que la degradación forestal se define como “la reducción de la capacidad del bosque de producir bienes y servicios” (FAO, 2002). En este sentido, la deforestación y la degradación forestal son consecuencias de un cierto número de acciones deliberadas que se enmarca en una cierta situación económica, política y social. También inciden las formas de distribución en el país de la riqueza, la información y la influencia política.

La deforestación se ha atribuido a todo un abanico de causas (ECOSOC, 1996; Movimiento Mundial por los bosques Tropicales, 2002; Estrada Porrúa, Cabrera y Brown, 2007) que van de una carencia de retribución comercial por las iniciativas de conservación forestal (quiebra forestal) (Panayotou, 1992) a la especificación inadecuada de los derechos de propiedad (Pearce y Brown, 1994), la deficiencia de las políticas, la pobreza (Otsuka y Place, 2001) o las insuficiencias de los métodos de ordenación. Todas estas causas han sido verídicas.

Diversos son los agentes que intervienen en la conservación de los bosques, tales como: agricultores de subsistencia, agricultores pequeños, grandes empresas agrícolas, el gobierno y la industria. Estos tipos de uso de la tierra son dinámicas económicas y sociales heterogéneas, y por lo tanto se necesitarán instrumentos reglamentarios o sistemas de incentivos diferentes para reducir la tasa de deforestación y degradación forestal, conforme a estrategias destinadas a una multiplicidad de sujetos. (FAO, 2008).

La teoría económica más elemental explica que la tierra se aprovechará para el propósito (bosque, cultivos agrícolas, uso residencial u otro uso de la tierra) que produzca los mayores beneficios financieros (el valor neto presente más alto). Sin embargo, la realidad muestra que los mercados agrícolas están tan fuertemente condicionados por subvenciones, políticas comerciales y planes de asistencia que, para el agricultor individual, la comparación de los beneficios obtenidos con la producción de cultivos (FAO, 2008).

Los países de Mesoamérica están en procesos y dinámicas inducidas a la deforestación, pero también a una transición forestal incluyendo territorios en los que se han evidenciado contrastes importantes en la regeneración de bosque. Tanto la deforestación como la degradación afectan de forma negativa a los bienes y servicios de los ecosistemas naturales. Considerando de manera conjunta a la deforestación y degradación se observa en la década de los setentas al 2002 la tasa anual es de 518% de hectáreas anuales. Esto evidencia el impacto de los procesos forestales que se tiene en México y en el mundo. La cubierta de vegetación secundaria actual en áreas del territorio nacional es el resultado de la regeneración de zonas que fueron previamente deforestados, como el deterioro de la vegetación primaria. Donde los últimos 20 años se han dado cambios importantes y de las 726 000 ha de bosque que se perdían anualmente en los noventa, la FAO reporta pérdidas anuales de 395 000 ha entre los años 2005 y 2010.

De acuerdo con la estimación de la FAO, durante la década del siglo XX hubo una pérdida anual de 8.9 millones de hectáreas de bosque, de las cuales aproximadamente el 1.6% se conserva en México. Históricamente, el desarrollo económico en nuestro país, ha sido a costa de recursos forestales, siendo uno de los países con las tasas más altas de deforestación en el mundo.

En este sentido, es conocido que los bosques latino americanos albergan una parte importante de la biodiversidad mundial y son un componente fundamental del sistema climático. Puesto que, se tienen estimaciones que indican que entre el 30 y el 40% del área forestal en los trópicos puede estar degradada (Blaser et al. 2011).

De manera que el resultado de la acción individual o en sinergia de estas causas resulta en una extensión de la degradación variable. Los procesos de degradación del bosque pueden o no afectar a grandes áreas, pero por lo general la afectación no se distribuye por igual en un territorio, ya que se suele centrar en áreas específicas (Herold et al. 2011). El proceso de degradación puede ser repentino o ser un proceso gradual que puede extenderse por largos de periodos de tiempo (Simula, 2009). En este sentido la velocidad a la que se produzca el cambio, junto con la percepción de cuando un bosque es deforestado está influenciado por las causas de degradación reconocidas en cada zona, los bienes o servicios de interés, y las escalas temporales y espaciales consideradas (Thompson et al. 2013. Ravera et al. 2015).

### 3.6.1. REVISIÓN DE LA DEFORESTACIÓN EN MÉXICO

México es uno de los países con más recursos forestales a nivel mundial. Los bosques, selvas y otros tipos de vegetación natural ocupan el 74% del territorio nacional. Estos recursos naturales no se explotan con la misma intensidad ni con los mismos propósitos en toda la superficie (Semarnat, 2002).

Los ecosistemas forestales son de importancia estratégica debido a la gran diversidad de especies que albergan y por los servicios ambientales que ofrecen. En nuestro país los bosques hay alrededor del 5% es ocupado por bosques de encinos, 14% por bosques de pino-encino y 1% por otras coníferas. Sin embargo, los bosques de pino y encino han sufrido una rápida disminución en extensión y en número de especies. A lo anteriormente mencionado, actualmente la superficie cubierta por bosques de encinos, bosques mixtos y bosques de pino en el país alcanza solo alrededor del 17% del territorio, y tienen una tasa de deforestación anual promedio mayor de 0.5% (Galicia et al., 2007).

En este sentido, la extensión y distribución de la vegetación natural es una medida básica para conocer el estado ambiental de las cuencas y su capacidad para mantener funciones y servicios fundamentales para toda la sociedad; su remoción total significa la alteración en los procesos de intercambio de materia y energía de la biosfera. Por ello la importancia de estudiar, especialmente, dónde y en qué medida la cobertura forestal se ha afectado una pérdida total de su vegetación natural (Matthews et al., 2000).

De acuerdo con la FAO (2005), la pérdida anual de cobertura forestal en México en el periodo 1990-2000 fue del 0.5% y bajó a 0.4% para el periodo 2000-2005. Kaimowitz (2008) argumenta que la caída en las tasas de deforestación en México y en Centroamérica, se deben principalmente a que la mayor parte de los bosques están en lugares poco aptos para la agricultura, con pendientes altas, suelos pobres o exceso de lluvias; la migración tanto nacional como internacional ha resultado en que menos jóvenes permanecen en las comunidades rurales; los gobiernos han aumentado su interés por apoyar la reforestación, la conservación y el manejo forestal.

En este apartado se presenta las múltiples corrientes en distintos autores acerca de las causas la deforestación a nivel global, así como para el caso específico en México. De esta manera se pretende contribuir al entendimiento de la dinámica de cambio en el uso de suelo, así como de las causas de la deforestación en México.

Angelsen y Kaimowitz (1999) mencionan que la principal causa de la deforestación es el cambio de uso de suelo provocado por viviendas o compañías, ya sea para la agricultura o por la extracción de madera. Sin embargo, detrás de estas acciones simples existen realidades sociales, económicas y políticas.

La pérdida de bosques es un proceso complejo que no puede atribuirse solamente a la relación causa-efecto. Dependiendo del contexto y de las circunstancias específicas, los factores causales pueden diferir significativamente entre países y en el tiempo no podemos llegar a generalizaciones (Contreras-Hermosilla, 2000).

La propuesta de Angelsen y Kaimowitz es distinguir entre causas de la deforestación a distintos niveles, que por un lado están los actores (individuos, hogares, ejidos, compañías, etc.) que son directamente responsables del cambio de uso de suelo o que reducen la capacidad productiva o la biodiversidad de los bosques (degradación). Las decisiones de estos actores sobre el uso del suelo se ven influenciados por una serie de parámetros o condiciones (precios, instituciones, tecnología, etc.) que representan las causas inmediatas o directas de la deforestación. Finalmente, están las causas remotas que son aquellas variables macro (población, crecimiento económico, tipo de cambio, etc.) y políticas nacionales e internacionales que tienen un impacto en las causas inmediatas y en la deforestación.

Angelsen propone la Teoría de la Transición Forestal. De esta manera, se plantea el uso del suelo sigue una trayectoria temporal predecible que puede ser explicada por la interacción entre factores demográficos y fuerza económicas a lo largo del desarrollo de una región o país. Este patrón muestra tanto la disminución en el crecimiento poblacional como los cambios en los mercados de alimentos y productos forestales. Más en particular, la demanda por alimentos y por parte de una población creciente inicialmente presiona la frontera agrícola. Pero esta relación se debilita con el tiempo por la urbanización y la innovación tecnológica lo que aumenta la productividad agrícola y permite que las tierras agrícolas marginales se reconviertan en bosque. Este planteamiento de Angelsen ayuda a la conceptualización del proceso económico que está detrás de la dinámica del uso del suelo.

El trabajo de Angelsen y Kaimowitz es una referencia de interés, ya que en él hacen una revisión de más de 140 modelos económicos sobre la deforestación. Parte de éste análisis dividen a los modelos en tres grandes categorías: microeconómicos, regionales y macroeconómicos.

Estos autores asumen que los modelos microeconómicos al utilizar, datos de encuestas a nivel hogares se puede realizar una buena descripción sobre el comportamiento y las características de los agentes. En cambio, los modelos regionales analizan la deforestación en un área o región con características distintivas (estructuras agrarias, historia política e institucional, ecología, etc). Angelsen y Kaimowitz son especialmente críticos de los modelos macroeconómicos; sobre los modelos de regresión



globales concluyen que la mayoría “no estima de forma confiable la dirección y la magnitud de los efectos que diferentes viables tienen en la deforestación.”

Entre las investigaciones más recientes se encuentra el de Zwane (2007), justifica que está en contra de la hipótesis de que reducciones en pobreza contribuirá a disminuir la deforestación. Esta conclusión se basa en un modelo teórico y en estimaciones empíricas en Perú bajo el supuesto de mercados incompletos donde se encuentra que, a mayor ingreso, mayor deforestación.

Repetto (1993) dice que los subsidios al sector forestal es muchas ocasiones terminan impulsando actividades que no son económicamente racionales y desembocan en mayor conversión forestal de la deseable. Otro ejemplo es el de Brasil, Kaimowitz (2002) dice que la agricultura y la ganadería resultan ser más rentables de lo que inicialmente se pensaba a pesar de que se redujeron los créditos y otros incentivos.

En el caso de estudio de Sunderlin y Wunder (2000) concluyen que los niveles de exportación de minerales y petróleo afectan a la deforestación dependiendo en el contexto de cada país. Por último, en lo que al impacto que las áreas protegidas tienen en la deforestación Porter-Bolland et al., (2011) realizan una comparación de estudios de caso que incluyen 40 áreas protegidas y 33 bosques bajo manejo forestal comunitario. De su análisis se concluye que los últimos años presentan tasas de deforestación anula iguales o menores y con menor variación que los bosques que se encuentran en áreas naturales protegidas. Específicamente los ejidos en México son ejemplo de cómo la cubierta forestal se puede mantener en bosques con manejo forestal comunitario aún bajo la presencia de presiones de deforestación. Las investigaciones de los bosques en México y Guatemala, los esquemas de extracción forestal comunitaria son al menos tan efectivos como las áreas protegidas en inhibir la deforestación.

De acuerdo a las anteriores afirmaciones México ocupa uno de los primeros lugares de deforestación en el mundo. Dicha deforestación se ha enfocado en la cuantificación de estimaciones sobre tasas de deforestación, cuyos rangos oscilan entre 75, 000 ha/año a cerca de 1.98 millones de hectáreas por año (ARN, 2002). Este amplio rango de estimaciones se realizó en distintos periodos, así como diferentes métodos y modelos. Las estimaciones oficiales (cuadro 1) muestran una pérdida de vegetación de cerca de 1.08 millones de hectáreas por año (Velázquez et al., 2002) para bosques y selvas.

### Cuadro 3.1. PÉRDIDA USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

Uso de suelo y vegetación	1976	1993	2000
Bosques	352,049	347,084	331,236
Selvas	377,598	352,798	314,340
Matorral	607,472	572,118	560,791
Vegetación Hidrofila	22,941	22,223	19, 887
Otros tipos de vegetación	53,319	68,226	60, 355
Pastizales naturales	104,779	94,947	86, 240
Pastizales inducidos y cultivados	149,617	173,753	225,135
Cultivos	262,389	290,325	325, 057
Otras coberturas	2,344	11,034	9, 467
Total	1,932,508	1,932,508	1, 932, 508

Cuadro 3.1. Pérdida uso de suelo y vegetación. Pérdida uso de suelo y vegetación.  
Fuente: Velázquez et al., 2002

Varios reportes de cobertura forestal pueden ser válidas en las regiones de referencia (ARD, 2002). Sin embargo, puede existir mayor pérdida de cobertura en otras regiones. Por tanto, es indispensable mejorar las fuentes de datos de referencia con trabajo de campo que considere aspectos fisionómicos de la vegetación, así como un trabajo más elaborado en la planificación del inventario (Velázquez et al., 2002). De esta manera se pueden evitar las inconsistencias encontradas a niveles de agregación de diferentes tipos de vegetación (Mas et al. 2001).

La deforestación se presenta con mayor gravedad particularmente en las selvas, mientras que en los bosques en zonas de montaña son afectadas principalmente por la degradación. El problema también se observa con intensidad en áreas forestales que no están bajo un manejo sistemático o donde los usos maderables o no tradicionales son muy escasos. En todos los procesos de la dinámica de cambio de uso de suelo en los últimos de años, tiene un patrón que favorece el crecimiento de áreas de cultivo, así como de pastizales inducidos y cultivados sobre las áreas forestales (FAO, 2004).

Los problemas ambientales que presenta México están como la sobreexplotación de sus recursos naturales, la fragmentación y pérdida de hábitat, la pérdida de biodiversidad, la extinción de especies y la degradación de suelos, entre otros. Aunque se ha reportado una disminución de la tasa de deforestación, muchos de los bosques que permanecen presentan altos niveles de perturbación humana, debido al aumento en los incendios, el libre pastoreo de ganado en el bosque y a la extracción de leña, madera y otros productos forestales sin controles adecuados (Morales-Barquero et al., 2014). Esto responde en cambios en la estructura y composición de los bosques templados y tropicales, así como en cambios en el funcionamiento de los ecosistemas, la afectación de la diversidad biológica y la reducción de acumulación de carbono.

Pese a que los disturbios ambientales son de origen antropocéntrico, no existe una definición y cuantificación fiable de la degradación. Los inventarios forestales solo se reporta la superficie de vegetación primaria y secundaria, y se hace referencia, por ejemplo, al cambio de vegetación arbórea a arbustiva como un indicador del grado de deterioro de los bosques (CONAFOR, 2014). Actualmente, numerosas evidencias muestran la necesidad de monitorear la degradación forestal en el país, para ello se requiere contar con una definición formal de bosque y con una definición viable y operativa de degradación (Morales-Barquero et al. 2014), que enmarquen las acciones a realizar frente a la problemática.

México ha adoptado los acuerdos y definiciones establecidos por la FAO en el marco del Protocolo de Kioto, pero también ha utilizado otras definiciones considerando su contexto forestal. De acuerdo con esto, según la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) los bosques son tierras que se extienden por más de 0.5 ha, con árboles de altura igual o mayor a 5 metros (o capaces de alcanzar esta altura in situ y con una cobertura dosel superior al 10% (CONAFOR, 2010). El Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (según el reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable LGDFS) define los bosques como vegetación forestal, principalmente de zonas de climas templado, en la que predominan especies leñosas perennes que se desarrollan en forma espontánea, con una cobertura de copa mayor al 10% y que formen masas mayores a 1, 500m<sup>2</sup>. Finalmente, un acuerdo entre el INEGI y la SEMARNAT para el Mecanismo de Desarrollo Limpio se define bosque como una superficie mínima de 1 ha, con una cobertura de copa que excede 30% y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima de 4 metros en su madurez in situ (CONAFOR, 2010).

Por otro lado, la degradación es definida por la SEMARNAT como la disminución de la capacidad presente o futura de los suelos, de la vegetación o de los recursos hídricos (CONAFOR, 2010), mientras que otras definiciones se refieren a la reducción en la capacidad de brindar servicios ecosistémicos, que resulta más difíciles de medir. México emplea el uso de definición de bosque de la FAO para sus reportes e investigaciones, y la definición de degradación de bosques de la CONAFOR “los cambios continuos en la situación actual o en el proceso de desarrollo de un ecosistema forestal, que producen la reducción de densidad, biomasa, calidad del arbolado e impactos negativos en las condiciones del suelo, sin implicar un cambio de uso de suelo o disminución de la superficie forestal afectada (Bonfil, 2015). Para evaluar los procesos de degradación es importante contar con un ecosistema o sitio de referencia, además de explorar diversos enfoques para evaluar las tendencias de la degradación y sus causas. En México estas causas se relacionan principalmente al desarrollo agrícola y pecuario, a los incendios forestales y a la tala y extracción ilegal de recursos forestales (CONAFOR, 2014; Grupo Integral de Servicios Ecosistémicos Eyé Kawi A.C., 2014).

Asimismo, no existe una evaluación nacional detallada de los procesos de degradación, se estima que entre 2005 y 2010 la degradación afectó a una superficie de entre 250, 000 ha año-1 (CONAFOR, 2014; Bonfil, 2015). Para mitigar la degradación de los bosques, México reconoce la importancia de promover la conservación y el manejo forestal sustentable (CONAFOR, 2014), aunque es necesario profundizar en el análisis de las causas y dinámicas de la deforestación y la degradación, que hasta la fecha presenta debilidades (CMSS, 2013).

De acuerdo con recientes estudios obtenidos, a partir de técnicas de análisis espacial en SIG, entre 1976 y 2009 la pérdida de vegetación primaria a nivel nacional ascendió a casi diez millones de hectáreas, mientras que en el mismo periodo la vegetación secundaria fue más de ocho millones. Dentro de estas cifras, los tipos de vegetación que presentaron la mayor disminución en su cobertura fueron las selvas, seguidas de los bosques y los matorrales (Cuevas M. L. et. al, 2010).

Examinando los cambios en las coberturas de vegetación primaria como secundaria, encontramos que han sido la expansión de los pastos cultivados e inducidos (los cuales están asociados principalmente a la ganadería), seguida por la agricultura y la urbanización. Esta afirmación lo expresa Sánchez Colón et al. (2009) donde retoma un estudio de SAGARPA del año 2001, que el 57% del territorio del país está ocupado por ganadería extensiva, por lo que continúa siendo el uso de suelo dominante de la superficie del país.

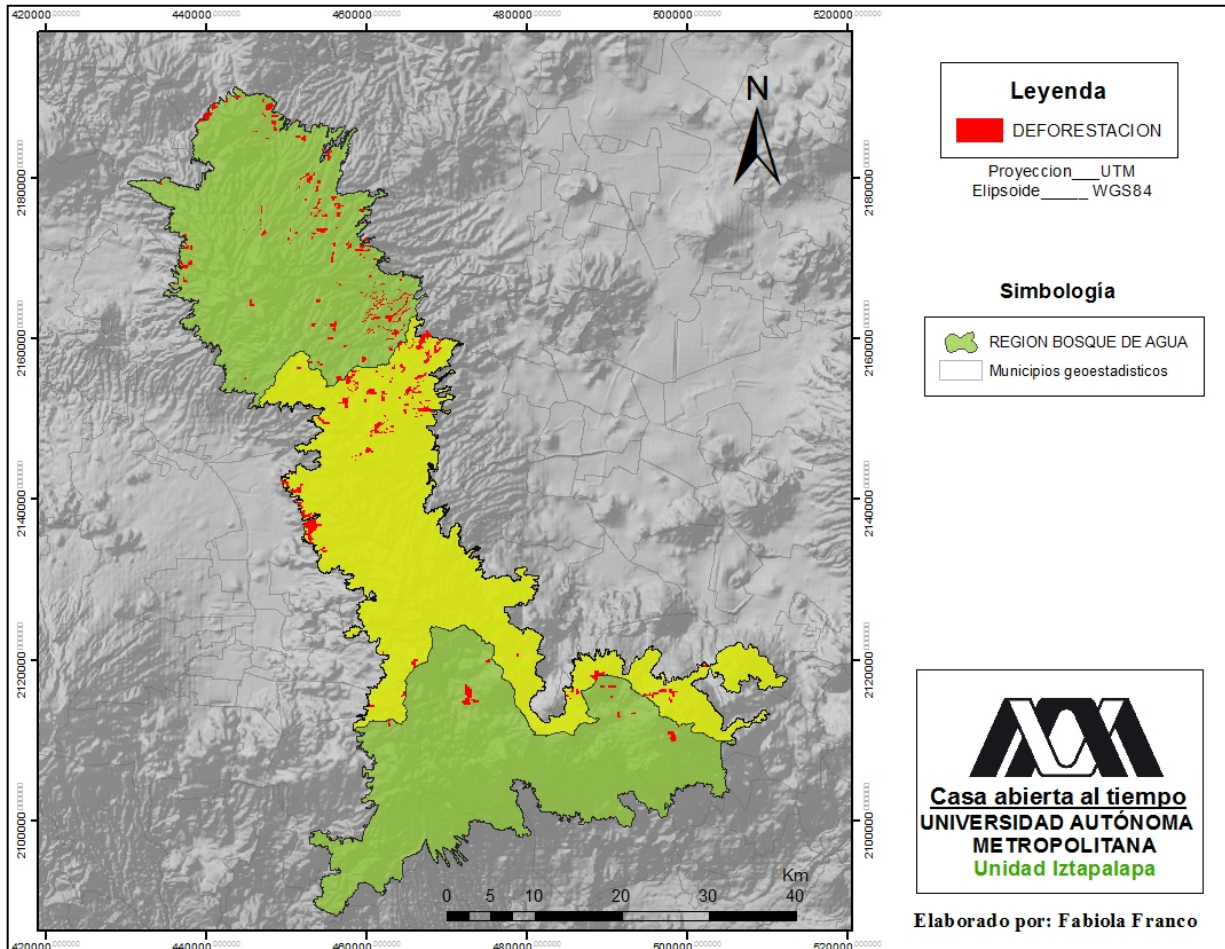
Sin embargo, de acuerdo con las fuentes de información, la agricultura sigue siendo la actividad que más hectáreas se encuentra expandiendo, ya que no sólo transformó a la vegetación natural, sino que también ganó superficie a cuerpos de agua o zonas costeras; incluso incorporó superficie ocupada en otras actividades como la ganadería o plantaciones forestales.

Realizando un desglose por tipo de vegetación y superficie perdida en los últimos 33 años, se observa que fue la deforestación de las selvas secundarias la que mayor superficie registró 5, 746,422 ha, resultado principalmente de la expansión ganadera (inferida por la presencia de pastizales inducidos y cultivados). Le sigue la pérdida de matorrales primarios (2, 968,694 ha), la deforestación de selvas (1, 960,528 ha) y bosques primarios (1, 930,527 ha), la deforestación de bosques secundarios (975 mil ha) y la pérdida de matorrales secundarios (779 mil ha). Las actividades que primordialmente sustituyeron esta vegetación fueron la ganadería (pastizales) y la agricultura. En una proporción mucho menor, la tercera causa fue el crecimiento de los asentamientos humanos y de las zonas urbanas.

Estos resultados coinciden con lo documentado por Challenger y Dirzo, et al. (2009) y Challenger (2008) quienes mencionan que desde la década de los 40's las selvas húmedas y a partir de los 70 las selvas secas, han sido los ecosistemas más afectados por las actividades humanas. Con respecto a los bosques templados mencionan que son el aprovechamiento forestal no sustentable, los incendios forestales y el crecimiento urbano las principales causas de su pérdida y degradación.

Según el informe del inventario Nacional Forestal a nivel nacional, los bosques templados son el tipo de vegetación que mayor degradación presenta, más de seis millones de hectáreas, lo que representa el 31% de todos los bosques templados primarios reportados a nivel nacional en la década de los 70. En este escenario, los bosques mesófilos de montaña, sufrieron en un 26% (307 mil ha a nivel nacional) algún tipo de deterioro.

**Figura 3.3. DEFORESTACIÓN DENTRO DE LA REGIÓN BOSQUE DE AGUA**



*Figura 3.3. Deforestación de la Región Bosque de Agua. Estudio satelital anual a partir de CONAFOR, de la cobertura forestal del 2006 al 2015 a través del Conjunto de datos vectoriales resultado entre dos años del Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (INDVI) de Imágenes tomadas por el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) de posible deforestación, áreas de posible degradación y áreas de posible recuperación o revegetación.*

De acuerdo a las estimaciones oficiales más recientes corresponden a los Informes Nacionales de México presentados por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) en el marco de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales (Forest Resources Assessment, FRA) que realizó la FAO para sus ediciones 2000, 2005 y 2010. Las comparaciones se basaron espacialmente explícitas de las áreas con vegetación forestal para los periodos 1990-2000 (empleando las Cartas de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI, Series II y III) y 2005-2010 (con base en las Series III y IV).

### 3.7. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO REGIÓN BOSQUE DE AGUA

Como se ha mencionado anteriormente la región del Bosque de Agua (BA), se localiza entre las Zonas Metropolitanas de las Ciudades de la Ciudad de México, Toluca y Cuernavaca, y que a su vez forma parte de las cuencas hidrográficas del Valle de México, Balsas y Lerma-Chapala. Teniendo en cuenta que la región comprende de importancia biológica con el 10% de especies endémicas, que representa el 1.98% de la biodiversidad mundial (INEGI, 2010). Romero Malpica definió el Gran Bosque de Agua como: “Una de las áreas de montaña templada más extensas –abarca 147,000 hectáreas-prioritarias de conservación en el ámbito global”.

El Bosque de Agua (BA) forma parte de la Sierra de las Cruces, tiene una extensión de 235, 000 hectáreas y se conforma por las sierras de Ajusco- Chichinautzin y de las Cruces, por tanto, conforman las partes altas de cuatro cuencas hidrográficas: la del Valle de México, del Balsas, del Lerma-Chapala y del Pánuco. Esta región es de alta importancia estratégica para el país, pues es la principal fuente hidrológica que alimenta los acuíferos que abastecen de agua a más de 22 millones de habitantes de las Zonas Metropolitanas (ECOBA, 2012).

Así mismo, dentro del BA se encuentran dos regiones biogeográficas: la neártica, con ecosistemas de clima templado, y la neotropical, con clima más cálido. Esto suma a la particularidad orográfica que deriva de los casi 300 volcanes, de los cuales tienen una altura de más de 4 mil msnm. Estos factores son los que destacan la principal variedad de ecosistemas característicos de esta zona, entre los que destacan los bosques de oyamel, de pino, de pino-encino, mesófilos de montaña, el matorral xerófilo y los pastizales (Greenpeace, 2006).

De acuerdo con García (2008), el Bosque de Agua está morfológicamente constituida por nueve volcanes y también de otras elevaciones esenciales, en términos ambientales, por configurar vastos manantiales y escurrimientos naturales, regular el clima, purificar el aire, etc., como: El Triángulo, Volcán Jumento, La Palma, El Muñeco, El Gavilán, La Gachupina, El Caballete, El Coyote, Las Palomas, que poseen importantes coberturas forestales. Éstos son de vital importancia no sólo para las poblaciones y biodiversidad de la Sierra de las Cruces, sino también para muchas de las actividades socioeconómicas de las grandes metrópolis. La ausencia de una delimitación específica manifiesta el desinterés a una zona geográfica importante por sus características naturales como base fundamental para su entendimiento (Barrera, 2012).

La investigación del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México estableció que el 92% de la zona incluye, tanto áreas protegidas como suelo de conservación, así como sitios declarados como patrimonio cultural de la Humanidad (Teresa Cedillo, 2008). A pesar de los factores de impacto ecológico, aún se reconoce la riqueza de más de 1, 500 especies de plantas, y posee además una presencia importante de anfibios, reptiles y mamíferos (Cedillo, 2008).

Esta región abastece el 75% del agua que se consume en la Ciudad de México y 100% que se utiliza en la ciudad de Cuernavaca. Esta zona central metropolitana del país presenta un estrés hídrico regional más elevado, en particular la extracción anual de agua subterránea. Estudios diversos de dicha región concluyen de la importancia de recarga hídrica para las ciudades de México, Toluca y Cuernavaca (López-Morales, 2012), es por ello la importancia de un esfuerzo efectivo de conservación, ya que el BA se encuentra amenazado por el avance del desarrollo urbano y la fragmentación intensiva de las áreas naturales. De seguir con estas tendencias, el deterioro alcanzaría mayores impactos en términos de abastecimiento de agua y amortiguamiento de la contaminación atmosférica, y posibilitaría cambios drásticos en el clima regional. Ante tal situación, la zonificación servirá a la conservación del área con base en tres aspectos fundamentales: la cobertura de vegetación, la determinación del valor hídrico y el uso del suelo (Cedillo, 2008).

El crecimiento urbano (región del Valle central de México, concentra casi una cuarta parte de los habitantes del país) ha tenido como resultado un incremento en la demanda de agua, lo que ha ocasionado una sobreexplotación del acuífero de la Ciudad de México en un 35% (INEGI, 2010). A esta demanda de agua, ha disminuido la recarga de estos mantos acuíferos por la reducción del tamaño del bosque. Este crecimiento de la urbe ha destruido parte del bosque, en relación al cambio de uso del suelo para el uso agropecuario y la tala ilegal.

Asimismo, la deforestación por el desarrollo urbano sobre el bosque y de la sobreexplotación de acuíferos, han desaparecido manantiales y otros cuerpos de agua, que por consiguiente ha habido una disminución de los niveles del acuífero del Valle de México a un ritmo de entre 1.1 y 1.5 metros por año, que ha traído como resultado el hundimiento de distintas partes de la Ciudad de México a ritmos de hasta 35 centímetros por año.

La falta de la cobertura forestal derivado de la deforestación y la degradación del bosque, no sólo afecta la capacidad de ésta recarga en los acuíferos, sino que además provoca que la lluvia erosione la tierra y azolve arroyos, ríos y presas. En conjunción de estos factores y el establecimiento de presas, bordos y sentamientos humanos en zonas de riesgo aumentan la vulnerabilidad de la zona (Green Peace, 2006).



Por consiguiente, los factores mencionados cada año el BA pierde el 2% de su cobertura. Los incendios forestales, la conversión del bosque en zonas de cultivo, la extracción de suelo, la cacería furtiva y la introducción de especies exóticas son algunos factores que exponen la biodiversidad y la existencia del bosque de agua. Sin embargo, las principales amenazas son el acelerado crecimiento de las zonas urbanas y la tala excesiva existente en la región.

Aunque con las áreas naturales protegidas (ANP) se busca la integridad biológica y ecológica de la región, el gran bosque de agua desaparece a un ritmo de 2 mil 400 hectáreas por año, no logra revertir esta situación. De hecho, en algunos casos, es precisamente dentro de estas ANP los problemas que se presentan de manera más aguda.

En este contexto, en la Sierra de las Cruces existe un problema de una clara delimitación para poder distinguir de manera homologada el ecosistema. Hay diversos instrumentos de política ambiental en programas de ordenamiento ecológico elaborados por el Distrito Federal, Estado de México y Morelos, pero no se especifica los límites biofísicos, morfológicos, territoriales o administrativos que resulta complicado una adecuada implementación hacia la protección ambiental de la zona que carece en las políticas ambientales de las entidades donde se ubica la Sierra; por lo consiguiente encontramos reducidos los decretos de Áreas Naturales Protegidas en ciertas zonas de la Sierra para un ecosistema tan importante en términos socioambientales (Barrera, 2012).

La bioregión del Bosque de Agua existen decretos de zonas de conservación ecológica en función de cada entidad u organismo federal, como el caso de las ANP a cargo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Dicha comisión está a cargo de la administración de las siete ANP existentes de la Sierra (Barrera, 2012).

**Cuadro 3.2. ZONAS DE CONSERVACIÓN DEL BOSQUE DE AGUA**

<b>Áreas Naturales Protegidas del Bosque de Agua</b>						
<b>Entidad</b>	<b>Entidad compartida</b>	<b>Nombre ANP</b>	<b>Año de decreto</b>	<b>Superficie</b>	<b>Superficie únicamente dentro de la Sierra (ha)</b>	<b>Categoría</b>
<b>Estado de México</b>	Morelos	Lagunas de Zempoala	1936	4790	4790	Parque Nacional
	Distrito Federal	Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla	1936	1920.46	1920.46	Parque Nacional
<b>Ciudad de México</b>		Desierto de los Leones	1917	1529	1529	Parque Nacional
		Los bosques de la Cañada de Contreras	1932	2400	2400	Parque Nacional
		Bosques industriales de La Venta	1942	230	230	Parque Nacional
		Cumbres del Ajusco	1936	920	920	Parque Nacional
<b>Morelos</b>	Distrito Federal	COBIO-Chichinautzin	1988	37302	1636	Área de Protección de Flora y Fauna

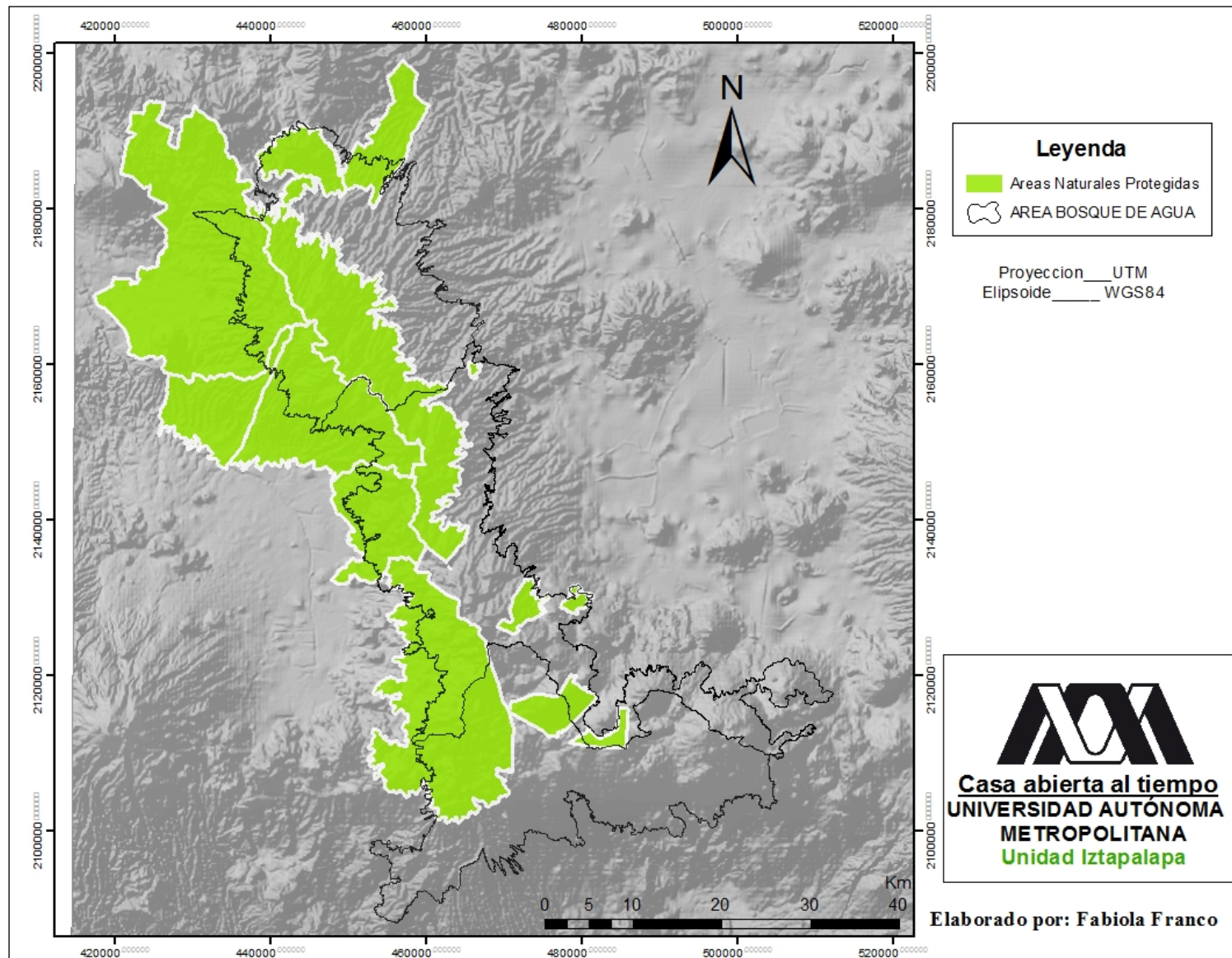
*Cuadro 3.2. Zonas de Conservación del Bosque de Agua*

La situación de los bosques durante el siglo XX, específicamente en el año 1947, los terrenos forestales eran considerados como tierras ociosas sin valor, y fueron desmontados en el propósito de volverlos “productivos” a través de la agricultura. Resultado de esta medida y la falta de su aplicación, hubo aumento en la pobreza y degradación de la zona aledaña del BA (Castaños, 2015).

Debido a las condiciones de degradación de los bosques a mediados de los años 50, a finales de 1969, se acordó la creación de PROTINBOS (Protectora e industrializadora de Bosques). Los esfuerzos de conservación y aprovechamiento racional de los recursos de los bosques de PROTINBOS, en 1976 se registró un aumento del 11.6% en la productividad de éste. Posteriormente, éste organismo público fue desintegrado para dar lugar a la de PROBOSQUE (Protectora de Bosques del Estado de México), la cual se ha enfocado a trabajos de conservación. Otro instrumento que implementa la conservación y recuperación de los bosques, ha sido el decreto de las ANP (Áreas Naturales Protegidas).

Asimismo, existe el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSAH) que funciona a nivel federal, implementado en 2003, tiene como objetivo principal la preservación de los bosques templados, bosques tropicales y selvas. El presupuesto de este programa se obtiene por parte de la CONAFOR, y los criterios a considerar para la legitimidad para este pago son: cobertura forestal mayor al 80% del total de superficie de entre 50 y 4000 ha, localización en zonas críticas para recarga de acuíferos y vinculación con abastecimiento de agua a localidades (DOF, 2003).

**Figura 3.4. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DENTRO DEL BOSQUE DE AGUA**



3.4. Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana. Elaboración propia a partir de Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Catálogo de metadatos geográficos, 2016

En las áreas naturales protegidas es importante conocer los planes rectores de las distintas instituciones que implementan la conservación ambiental del país, que a partir con el establecimiento del Plan Nacional de Desarrollo 2001- 2006 se determinó el enfoque de sustentabilidad como uno de los principios fundamentales de la estrategia del desarrollo nacional. El objetivo propuesto para dicho Plan ha sido la creación de la Comisión Nacional Forestal, como organismo público descentralizado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), con los objetivos de desarrollar, fomentar e impulsar las actividades productivas, de conservación y de restauración en materia forestal; así como participar en la formulación de los planes y programas referentes a la aplicación de la política federal de desarrollo forestal (Perevochtchikova, 2012).

Sin embargo, de las 112 100 ha de superficie que tiene el BA, únicamente una porción de 13, 425 ha se encuentran resguardadas como ANP. El resto de la superficie, más de 98 mil ha están bajo decretos de conservación poco claros como en el caso del Parque Otomí-Mexica y el suelo de conservación del DF (Barrera, 2012).

### 3.7.1. LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

El Bosque de Agua se localiza dentro de la Sierra de las Cruces (SC), y tiene una longitud de 110 km y un ancho de 47 km a 27 km en la parte norte y sur respectivamente. La SC limita al norte con la Sierra de las Masas e Iglesia Vieja, al sur con el volcán Ajusco, el Nevado de Toluca y la Sierra de Chichinautzin, al este con la Cuenca de México y al oeste con la Cuenca de Toluca. El polígono se obtuvo a lo largo de la sierra, como resultado se delimitó el Bosque de Agua, y fue dividido en 3 fracciones, siendo el límite entre ellas las subcuencas.

**Figura 3.5. ZONIFICACIÓN DE LA REGIÓN BOSQUE DE AGUA**

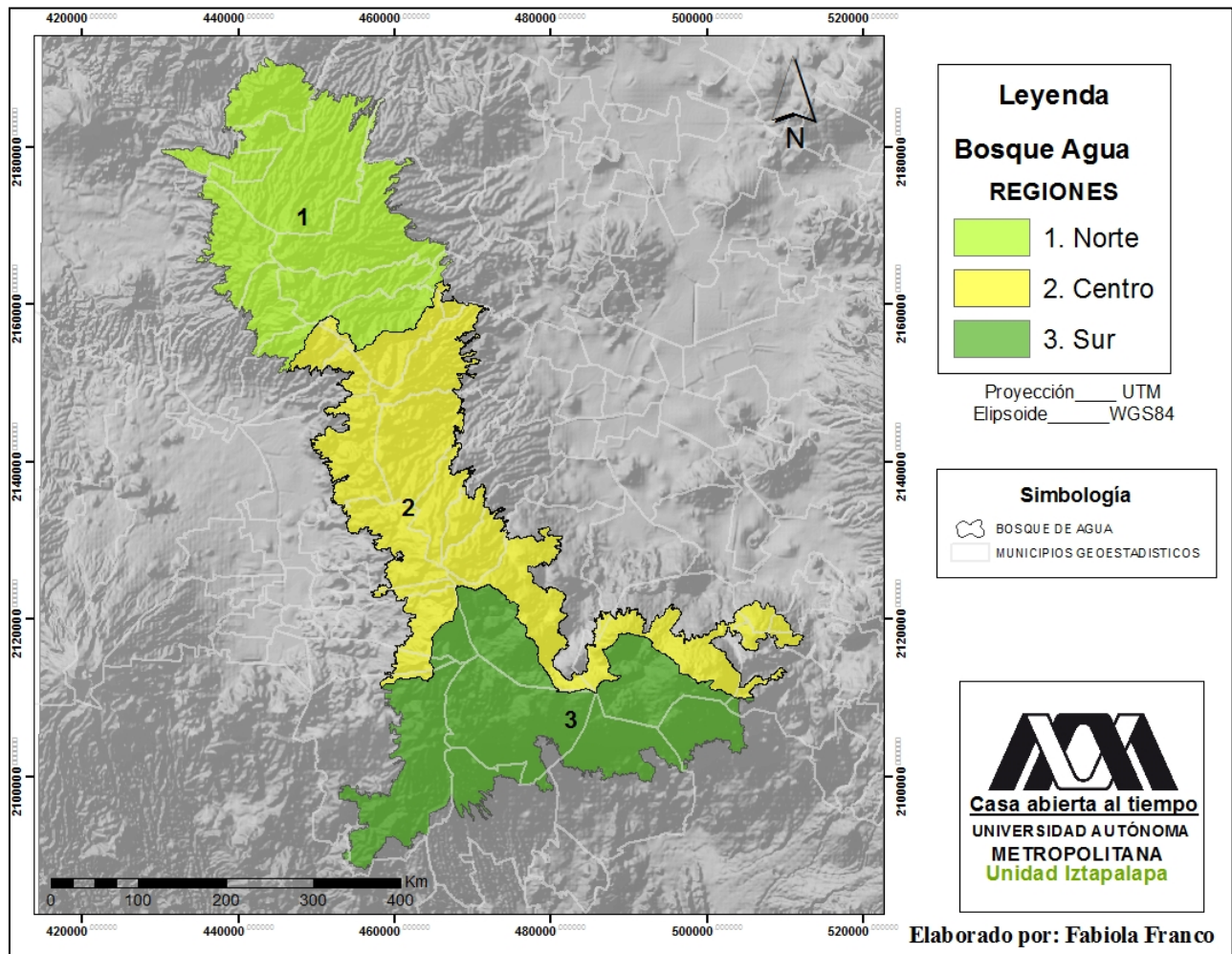
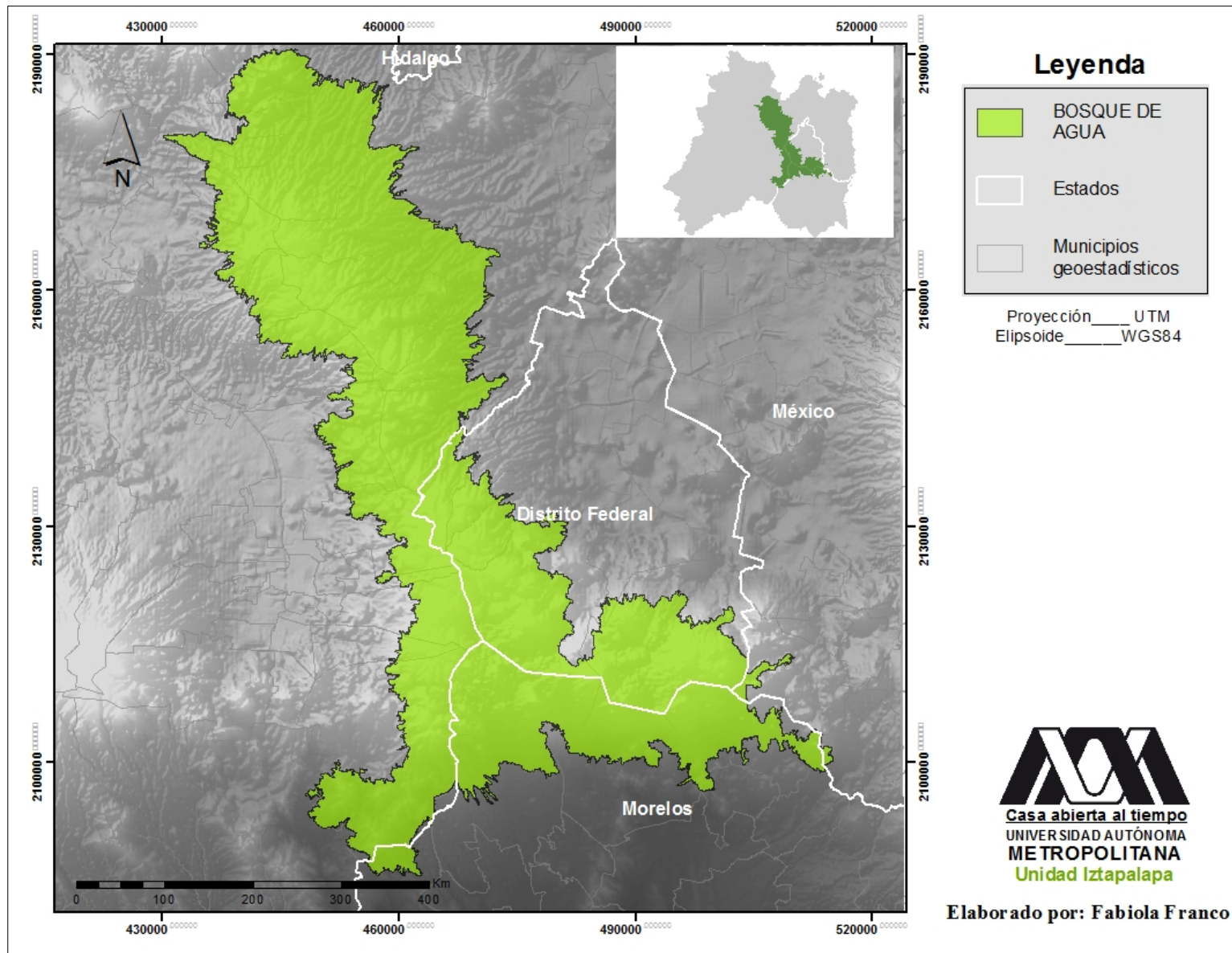


Figura 3.5. Zonificación de la Región Bosque de Agua. Regiones norte, centro y sur del Bosque de Agua. Elaboración propia a partir de lo obtenido en este estudio y de la cartografía INEGI (CEM Nacional a 15m).



**Figura 3.6. LOCALIZACIÓN REGIÓN CENTRO BOSQUE DE AGUA**



*Figura 3.6. Localización Región Centro del Bosque de Agua localizada en la Sierra de las Cruces. Elaboración propia a partir de lo obtenido en este estudio y de la cartografía INEGI (CEM Nacional a 15m).*

En este estudio, se analizó el área de la región 2 (de aquí en adelante Bosque de Agua II). El polígono final del Bosque de Agua fue dividido en 3 fracciones, siendo el límite entre ellas las subcuencas. En el presente trabajo, analiza el estudio de la fracción central del Bosque de Agua (región 2), y abarca los municipios de Tlalpan, Xochimilco, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Milpa Alta, Xonacatlán, Tianguistenco, Tenango del Aire, Temamatla, Otzalotepec, Ocuilan, Ocoyoacac, Naucalpan, Lerma, Juchitepec, Jilotzingo, Xalatlaco, Isidro Fabela, Huixquilucan, Chalco, Atizapán de Zaragoza y Huitzilac. De este modo, se obtuvo el resultado del área total del polígono es de **87919.70 ha**.

La Sierra de las Cruces es un importante conjunto montañoso, con una elevación máxima de 3, 800 msnm. El relieve de montaña ocupa la parte intermedia de la SC; se confiere de terrenos rocosos que se localizan a partir de los 2, 950 msnm en las vertientes que se orientan hacia la cuenca de Toluca. En las laderas que integran la cuenca de México, y las estructuras rocosas comienzan a ser frecuentes a partir de los 2, 700 m de altitud (García, 2008).

### 3.7.2. DELIMITACIÓN DE LA REGIÓN DEL BOSQUE DE AGUA

La delimitación del bosque de agua se llevó a cabo tomando como base la poligonal de la ONG Conservación Internacional (CI), se realizó una nueva propuesta considerando las características de aspectos biofísicos que permitieran conjuntar aspectos homogéneos de la región. Con estos elementos se logró el resultado de la región del Bosque de Agua.

Los criterios a considerar de la región fueron el relieve, el tipo de vegetación, la altitud y la continuidad de masa forestal. Respecto al relieve, se incluyeron las áreas con pendientes mayores de los 8 °, ya que estas zonas se estiman mayormente forestales.

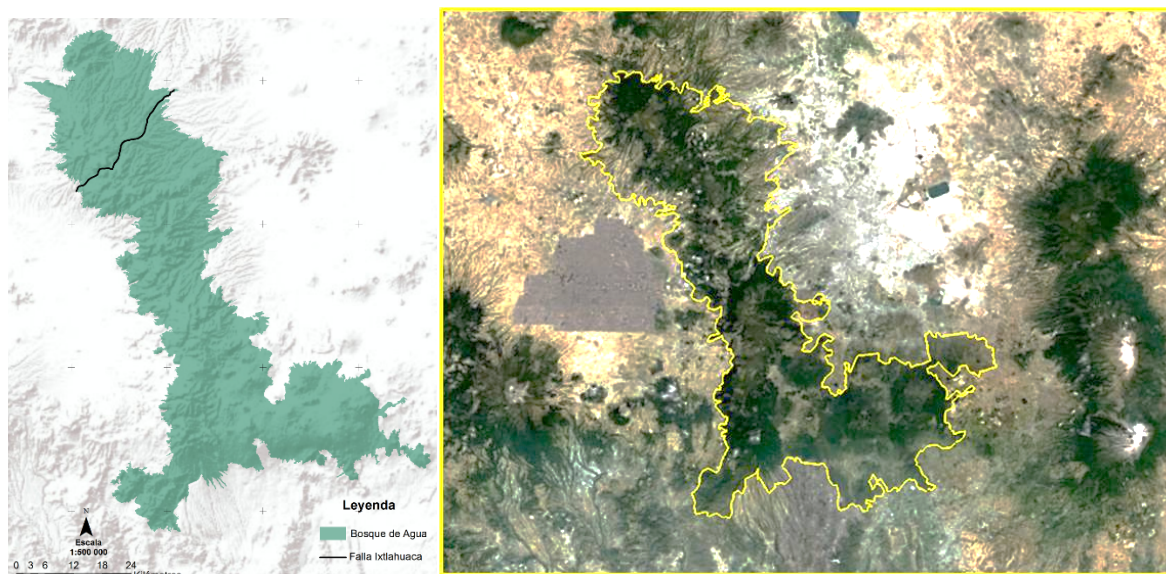
La cobertura forestal se delimitó a una escala de 1:10 000 con el apoyo del software ArcMap 10.2, mediante con imágenes SPOT del año 2015 con proyección del sistema UTM, Datum WGS84 se realizó la digitalización. Donde se incluyeron coberturas forestales abiertas y cerradas; adicionalmente se abarcaron zonas de preferencia forestal, aun sin ser tener cobertura forestal, como pendientes de 8° y la altitud mayor a 2 600 msnm.

Para obtener el resultado de ésta delimitación se descargaron del INEGI las cartas topográficas de E14A17, E14A18, E14A19, E14A27, E14A28, E14A29, E14A38, E14A39, E14A48, E14A49, E14A58, E14A59, E14B11, E14B21, E14B31, E14B41 y E14B51, así como la descarga de archivos tipo shape de las curvas de nivel de cada 50 metros.



La propuesta de la delimitación se tomaron en cuenta la cobertura de bosque, tipo de vegetación, formas de relieve, altitud y pendientes. Se utilizaron ortofotos de 1995 (INEGI) para digitalizar la cobertura boscosa. El resultado del polígono del BA va desde la zona montañosa de San Juan Tuxtepec, en el municipio de Chapa de Mota, Estado de México hasta el norte del estado de Morelos.

**Figura 3.7. POLÍGONO DEL ÁREA DE ESTUDIO BOSQUE DE AGUA**



*Figura 3.7. Polígono del Área de Estudio* Figura 3.7. Polígono del Bosque de Agua. En la Iniciativa Bosque de Agua, se propone un polígono de 258,000 ha. El polígono aquí propuesto es más extenso en área (300,590 has vs 258,000 ha), las zonas donde más se extiende es la norte y suroeste.

Al finalizar la digitalización del Bosque de agua que se propuesto por parte del Instituto de Geografía, se pudo observar que no se plantearon límites claros respecto al polígono de la Conservación Internacional, ya que abarca grandes zonas urbanas y algunas de las zonas de bosque están excluidas. Sin embargo, los límites de la zona central del bosque están delimitado conforme a las curvas de nivel y en otras las formas de relieve, mientras en la zona sur no está claro los criterios utilizados en la delimitación.

La delimitación en el área de estudio se basó de acuerdo a los límites naturales y sus recursos naturales. Definir la distribución espacial y características de esta región es la base de la conservación de dichos recursos. El polígono va desde la zona montañosa de San Juan Tuxtepec, en el municipio de Chapa de Mota, Estado de México hasta el norte del estado de Morelos. El área resultante fue casi la misma que la del polígono de CI, con 259,000 ha.

**Figura 3.8. ÍNDICE DE CARTAS TOPOGRAFICAS DE LA REGION BOSQUE DE AGUA**



*Figura 3.8. Índice de carta topográfica* Elaboración propia a partir de Conjunto de datos vectoriales de información topográfica INEGI. Serie V. México

El resultado de la delimitación del Bosque de Agua se tuvo que generar la descarga de las cartas topográficas de INEGI, así como la obtención de las curvas de nivel de cada 20 metros de acuerdo al terreno con pendientes mayor a 8°, cuya delimitación se realizó en ArcMap 10.2, a escala 1: 10,100.

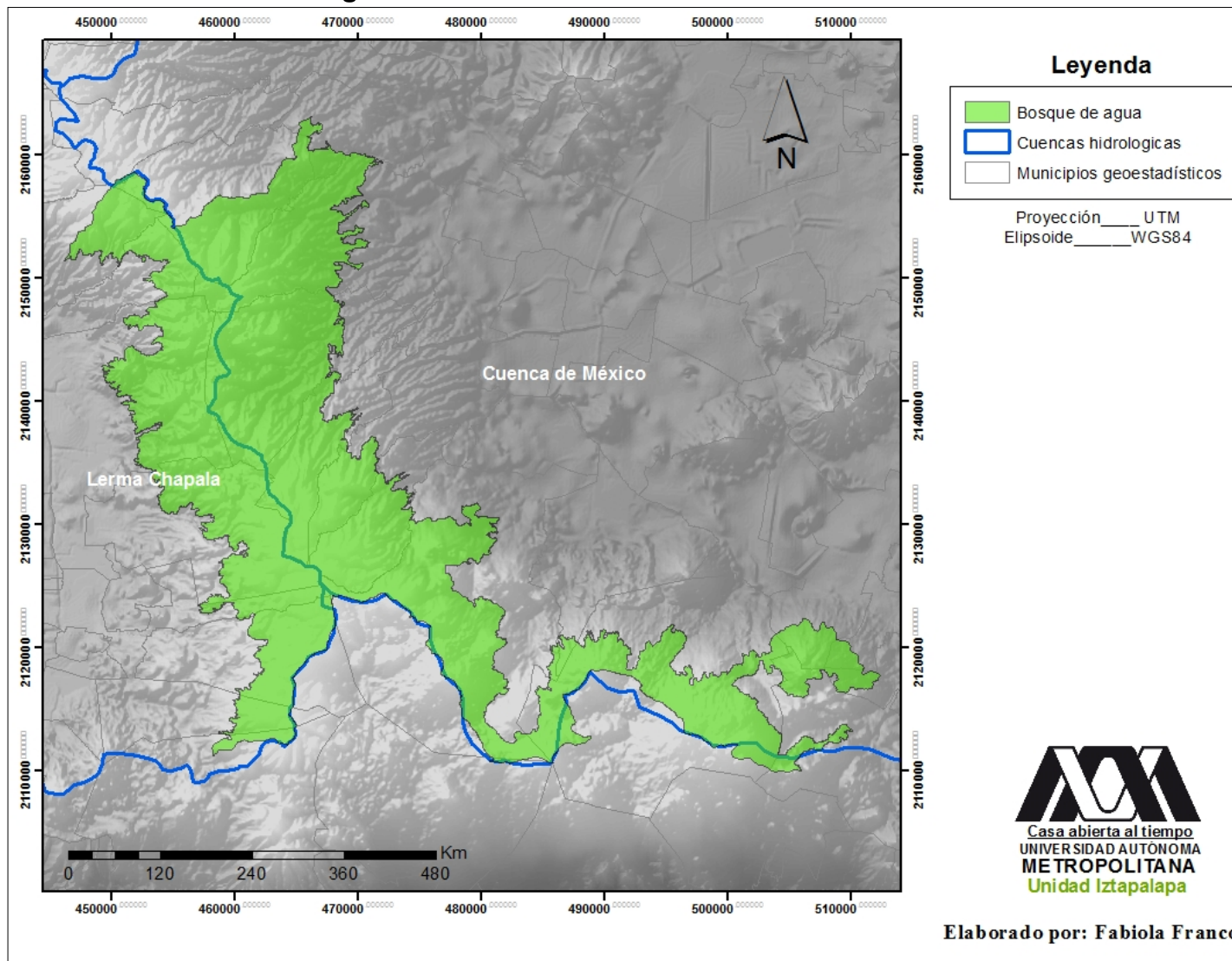
### 3.8. CARACTERIZACIÓN DEL BOSQUE DE AGUA

Las zonas de bosque, (inventario Nacional Forestal y de Suelos 2014) con cobertura dosel cerrada, semicerrada y semiabierto (Promis, 2012) se incluyeron como parte del Bosque de Agua. Es una zona constituida principalmente de bosques de coníferas, delimitada por la cota de 2300 msnm y pendientes mayores a 8°.

El área de estudio denominada Bosque de Agua (figura 4), es una región de extensa superficie forestal y gran importancia de la zona central de México, ya que la fuente de abastecimiento del consumo hídrico es aproximadamente el 70% utilizada en la Ciudad de México y las zonas metropolitanas de Toluca y Cuernavaca. Por ello, es importante conocer la dinámica social, económica y ambiental en el cambio de uso de suelo en las zonas forestales junto con el crecimiento de población durante el periodo de 1994 a 2015.

De este modo es relevante conocer el estado de conservación y deterioro de los recursos naturales para asegurar la prevalencia dentro de esta región. Por lo anteriormente mencionado, los objetivos de este trabajo son evaluar los cambios de la cobertura forestal en el Bosque de Agua, así como establecer la zonificación forestal de acuerdo a los criterios planteados por la CONAFOR (2010).

**Figura 3.9. LOCALIZACIÓN ZONA DE ESTUDIO**



*Figura 3.9. Localización del Bosque de la zona de estudio. Elaboración propia a partir de lo obtenido en este estudio y de la cartografía INEGI Áreas Geoestadísticas Estatales, 2010. La zonificación forestal se constituye por cuencas y subcuencas hidrológico-forestales que compone el Bosque de Agua. Se encuentra entre la cuenca del Lerma-Toluca, al oeste y la de la Cuenca de México, al este. De las partes altas también surgen numerosas corrientes de agua perenes e intermitentes; la región presenta permeabilidad media a alta (INEGI, 2010), el escurrimiento superficial se intensifica.*

### 3.8.1. TOPOGRAFÍA, GEOLOGIA Y EDAFOLOGIA

En México existe gran diversidad de suelos que pueden explicarse por la interacción de diversos factores, como la topografía por la actividad volcánica del Cenozoico, por la altitud, por la diversidad paisajística, el clima y los tipos de rocas que existen en el territorio (Semarnat).

De acuerdo a las características consultado de la Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2016). La sierra de las Cruces se ubica en la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicano (FVTM), constituido por cerca de 8000 estructuras volcánicas que tienen su origen en la actividad volcánica del Cenozoico Superior. La actividad volcánica crea extensos abanicos en las lomas al pie de la sierra, los cuales corresponden a la Formación Las Cruces y a la Formación Tarango.

En consecuencia, por su origen geológico y las formas del terreno, en la cuenca del valle de México destacan las serranías y las barrancas como elementos funcionales del paisaje. En este sentido, las barrancas y los ríos definen las cuencas hidrográficas como unidades morfográficas superficiales. Las barrancas forman parte del complejo sistema hidrológico en tanto la cuenca está rodeada de montañas que constituye un sistema montañoso con elevaciones de origen volcánico inmerso en el altiplano central, con altitudes que van desde los 2,250 hasta los 3,050 msnm.

Este sistema hidrológico de las cuencas y subcuencas del centro del país han sido afectadas en el tiempo por los cambios continuos del uso del suelo. Las modificaciones en el patrón de escurrimientos superficiales, las tasas de infiltración y precolación, han sido minimizadas y transformadas, de tal forma que, en periodos de lluvias fuertes, las tasas de escurrimiento serán más grandes y de gran velocidad, por tanto, las zonas de barrancas en áreas vulnerables de derrumbes y deslaves, así mismo los excedentes de escurrimientos se depositarán en las zonas bajas (áreas urbanizadas), trayendo problemáticas de azolves.

Los suelos predominantes que presenta la Sierra, por su origen volcánico extrusivo, son Litosol-Feozem haplico, Feozem Haplico-Litosol (Hh+I/2), existiendo en menos cantidad los suelos Fluvisol éutrico, lo que significa que tiene limitaciones para el uso agrícola y uso como pastizales, los cuales están en erosión constante, principalmente por las actividades antrópicas. El tipo de suelo que hay en el Bosque de Agua se ha generado por materiales volcánicos en la mayoría de la superficie. En esta región lo que más prevalecen son 5 tipos de suelos:



**Figura 3.10. TIPOS DE USO DE SUELO EN ZONA CENTRAL DEL BOSQUE DE AGUA**

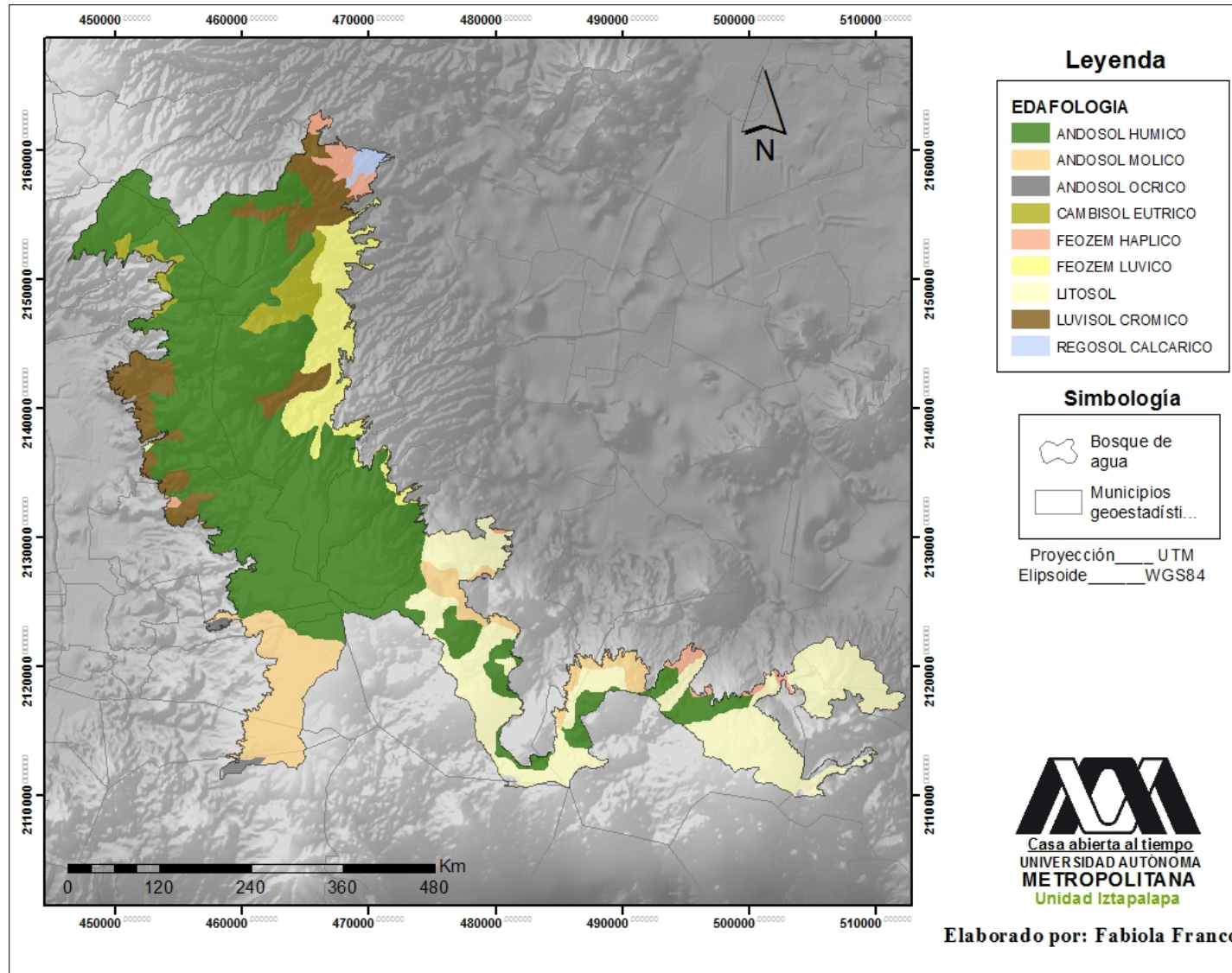


Figura 3.10. Tipos de suelos zona central Bosque de agua Figura. Elaboración propia a partir de Cartografía INEGI. Conjunto de datos vectorial Edafológico, Serie II, 2015)

### Cuadro 3.3. TIPO DE SUELO EN EL BOSQUE DE AGUA

Tipo de suelo	Ha	Porcentaje
<b>Andosol</b>	6459.80	73.47%
<b>Feozem</b>	15569.30	17.70%
<b>Luvisol</b>	3086.78	3.51%
<b>Vertisol</b>	2947	3.35%
<b>Litosol</b>	2075.68	2.36%

Cuadro 3.3. Tipos de suelos zona central Bosque de Agua. Elaboración propia a partir de Cartografía INEGI. Conjunto de datos vectorial Edafológico, Serie II, 2015).

En la tabla se muestra el porcentaje el tipo de suelo en la zona central del Bosque de Agua, el que más predomina es el Andosol con 73.47%, el Feozem tiene el 17.70%, el Luvisol 3.51%, le sigue el Vertisol con el 3.35%, y por último el Litosol con 2.36%.

El tipo de suelo Andosol es de origen volcánico, constituidos principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido de alófono, que atribuye ligereza y untuosidad al suelo. El Andosol se extiende en la región de Lagos y Volcanes de Anáhuac, en el centro del país. Generalmente, tiene la característica de tener colores oscuros y tienen alta capacidad de retención de humedad. En su condición natural presentan vegetación de bosque o selva (INEGI, 2004).

El Feozem es una tierra parda que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante del país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en material orgánico y en nutrientes (INEGI, 2004).

El Luvisol es un tipo de suelo con acumulación de arcilla. Son suelos que se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas, aunque también pueden encontrarse en climas más secos. La vegetación es generalmente de bosque o selva y se caracteriza por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo (INEGI, 2004).

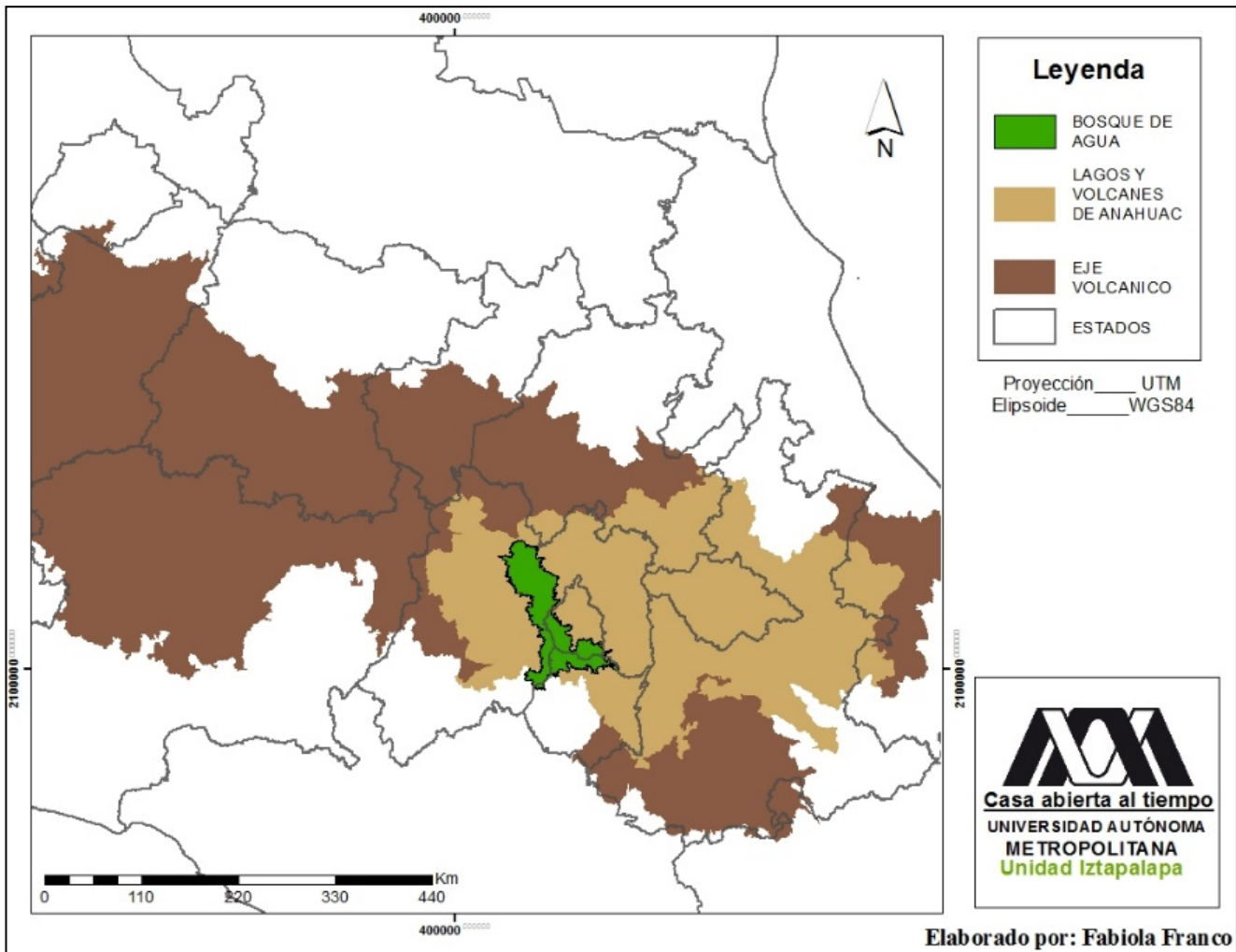
El Vertisol son suelos de climas templados y cálidos. La vegetación en este suelo va de selvas bajas a pastizales y matorrales. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo (INEGI, 2004).

El Litosol es suelo de piedra y son los más abundantes del país, aunque en menor cantidad en la zona de estudio. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación (INEGI, 2004).

### 3.8.2. FISIOGRAFÍA

En esta región forma parte de la provincia fisiográfica la Faja Volcánica Transmexicano (FVT), formada en el Terciario Tardío. Dentro de esta región, se encuentra dentro de la subprovincia de Lago y Volcanes de Anáhuac, que se caracteriza por rocas volcánicas terciarias y cuaternarias (INEGI, 2001). La zona centro de la Sierra de las Cruces se extiende entre las cuencas de México y Toluca. El bloque central se conforma por cimas que destacan el Muñeco (3, 870 m), el Gavilán (3,780 m) y El Coyote (3, 520 m). En general, el bloque muestra un hundimiento importante con respecto a los bloques norte y sur. La porción central la integran los volcanes Chimalpa, Salazar y parte del complejo San Miguel (Mooser et al., 1974; Romero-Terán, 2001).

**Figura 3.11. REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA DE LA TOPOGRAFÍA DE LA REGIÓN CENTRO A NIVEL NACIONAL**



Representación Cartográfica de la Topografía de la Región Centro. *Ubicación de la Región de Bosque de Agua dentro de la representación cartográfica de las diferentes provincias y subprovincias del territorio nacional. Elaboración propia a partir de Cartografía INEGI Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional serie I. Provincias fisiográficas.*



### 3.8.3. CLIMA

El clima predominante es templado subhúmedo (García, 2004), de los cuales se distinguen categorías de climas C (w2), C (w1) y Cb'(w2). Esto indica que la región presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura mínima en la época fría de -3°C y la máxima 18°C. En el mes más cálido, va hasta los 22°C; templado subhúmedo, lluvias en verano, temperatura media entre 12 y 18°C. Templado semifrío, temperatura media entre 5 y 12°C., y con precipitación anual entre 200 y 1,800 msnm. En la región del Bosque de Agua se presenta los climas C (w1 y C (w2) son climas templados subhúmedos y el Cb (w2) que es semifrío. Éste se encuentra en la parte más elevada de la zona, alrededor de los 3,700 msnm.

### 3.8.4. TIPO DE USO DE SUELO Y VEGETACION

La vegetación arbórea de origen septentrional, se ubica principalmente en regiones de climas templado y semifrío, condición característica de las regiones montañosas de la Sierra Madre Occidental, Oriental y el Eje volcánico.

Los usos y tipos de vegetación se refieren a las diferentes agrupaciones vegetales que se presenta en la zona de estudio. El tipo de vegetación predominante de la región del Bosque de Agua son los bosques templados. De acuerdo al Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2014, y por las características ecológicas y fisonómicas, ha dado lugar a la clasificación de un gran número de tipos de vegetación, tales como: bosque de oyamel, bosque de ayarín, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque encino-pino, bosque de táscate, bosque de galería y bosque cultivado.

En el área de estudio existe gran variedad de vegetación y uso de suelo, por lo que se va a describir aquellas clasificaciones con las que cuenta el Bosque de Agua. Los tipos de vegetación que se incluyen en la información de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI son los siguientes:

**Cuadro 3.4. TIPOS DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO EN EL BOSQUE DE AGUA**

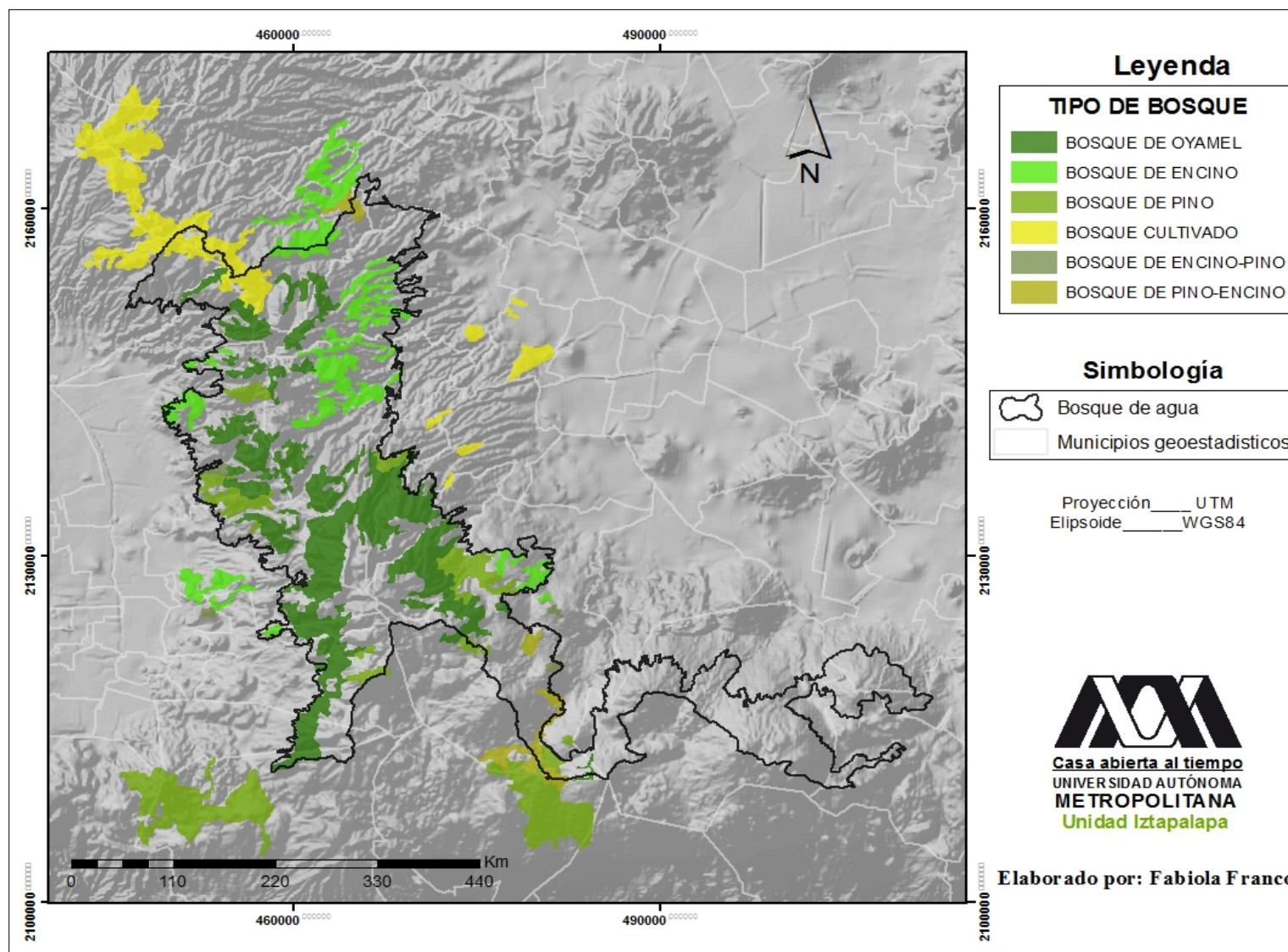
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>Ha</b>	<b>%</b>
Bosque de oyamel	18771,60	21,26
Agricultura de temporal anual y permanente	13887,80	15,73
Pastizal inducido	13005,30	14,73
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	9050,62	10,25
Agricultura de temporal anual	6356,90	7,20
Bosque de pino	6275,27	7,11
Bosque de encino	5465,07	6,19
Vegetación secundaria arbórea de bosque de oyamel	3177,65	3,60
Vegetación secundaria arbórea de bosque de pino	2911,63	3,30
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino	1738,81	1,97
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de oyamel	1649,72	1,87
Bosque cultivado	1613,14	1,83
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino	1385,96	1,57
Vegetación secundaria arbórea de bosque de encino	1293,51	1,47
Bosque de pino-encino	1123,96	1,27
Bosque de encino-pino	240,44	0,27
Zona urbana	142,28	0,16
Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino	112,09	0,13
Asentamientos humanos	64,82	0,07
<b>TOTAL.</b>	<b>88276,57</b>	<b>100</b>

*Cuadro 3.4. Tipos de Vegetación y Uso de Suelo en el Bosque de Agua* Fuente: Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Conjunto Nacional.

La vegetación que predomina son los bosques templados en la región Bosque de Agua. De acuerdo al Inventario Nacional Forestal y de Suelos hay alrededor de 51,000 ha de bosque: Bosque de encino 26.56%, bosque de Oyamel con el 21.26%; el total de bosque junto con las otras categorías de la zona es de 37.94%; así mismo hay otros tipos de uso del suelo como la vegetación secundaria es de 24.15%, el pastizal inducido cuenta con el 14.73%, la agricultura tiene el 22.93%, y los asentamientos cuenta con el 23%.

El bosque de encino se encuentra entre los 2,350 y 3,100 msnm, el bosque de *Pinus*, se presenta a una mayor altitud que el de encino, desde los 2, 350 a los 4000 msnm. En cuanto al bosque de oyamel, tiene una distribución más restringida, ya que se desarrolla entre los 2,700 y 3,500 msnm y en sitios con muchas humedad y suelos profundos (Rzedowski, 2005). Los bosques densos corresponden a las zonas montañosas del Bosque de Agua, en mayor proporción en la zona centro y poniente de la región.

**Figura 3.12. COBERTURA FORESTAL EN LA REGIÓN CENTRO DEL BOSQUE DE AGUA**



*Figura 3.12. Cobertura Forestal en la Región Centro del Bosque de Agua.* Cobertura forestal potencial de la región centro del Bosque de Agua. Elaboración propia a partir de lo obtenido en este estudio Cartografía INEGI Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso del suelo y vegetación serie VI. Conjunto Nacional.

### 3.8.5. ASPECTOS DEMOGRÁFICOS Y DE POBLACIÓN

En el Bosque de Agua se ha contabilizado más de 150 poblaciones, en su mayoría están compuestas por indígenas otomíes que comparten territorios con mazahuas y mexicas en menor proporción. La población estimada en la bioregion en el año 2010 es de 194 287 habitantes, localizados en su mayoría en el bloque central. Esto sin considerar varias poblaciones periféricas ubicadas al pie de monte, que en sumatoria nos dan más de 300 localidades distribuidas dentro y fuera del ecosistema. Las actividades productivas dependen de la obtención, uso y aprovechamiento de los elementos naturales como madera-leña, agua y alimentos que se cultivan en parcelas ubicadas a alturas mayores a los 2 800 msnm.

De norte a sur, la Sierra de las Cruces comienza desde el municipio de Morelos y Villa del Carbón, hasta terminar en los municipios de Ocuilan y Huitzilac, donde se encuentran muchos poblados con características rurales, dedicados a actividades agropecuarias bajo tenencia ejidal y comunal.

Dentro de los 21 municipios que conforman la Sierra, existen un total de 157 núcleos agrarios, de los cuales 121 son ejidales y 36 comunales, que suma una superficie de 219, 361 ha; del total de los núcleos agrarios ubicados en los 21 municipios, sólo encontramos 45 dentro de la bioregion, el resto están distribuidos en zonas a pie de monte.

Las tierras de ejidos y comunidades agrarias han presentado procesos de venta y fraccionamiento de suelo con destino al desarrollo urbano. En municipios y delegaciones como Huixquilucan, Ocoyoacac, Lerma, Nicolás Romero, Naucalpan, Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan, se han dado procesos de cambios al uso del suelo de forestal-agrícola por el de fraccionamientos privados de niveles medio-altos y muy altos, y en casos como los ejidos: Nicolás Romero, Barrio Juárez, San Mateo Nopala, San Juan Totoltepec, Santa Cruz Acatlán, Los Remedios, San Antonio Zomeyucan, San Bartolo, San Francisco Cuautlalpan, San Esteban Huitzilacasco y San Jerónimo, se han constituido como colonias de la ZMVM, integrando más de 3 300 ha a su área urbana (AU).

Así mismo, en el resto de los municipios la propiedad privada se ha consolidado a partir de procesos de compra-venta de terrenos ejidales e invasión de áreas forestales por parte de poblaciones en condiciones de pobreza, creando asentamientos irregulares. Esto incluyendo los proyectos comerciales, los emplazamientos industriales y las vías de comunicación son factores intrínsecos para entender la dinámica metropolitana sobre las áreas naturales.

En este capítulo conforme en las publicaciones revisadas, se generaliza que la degradación de los bosques ocurre principalmente a través de la tala selectiva, los incendios forestales y los efectos de borde en relación con la fragmentación del bosque, produciendo cambios duraderos en la composición, estructura y funcionamiento de las áreas forestales. Así, algunos estudios consideran que la degradación de los bosques puede tener un nivel similar al producido en la deforestación en áreas forestales, si bien todavía existe una limitación de datos, es importante avanzar en compilar información existente que aporte conocimiento sobre el proceso en el impacto negativo de origen antrópico dentro de las áreas boscosas que puede llegar a afectar los procesos ecológicos de los ecosistemas (Espelta et al., 2016). En este sentido, los programas de monitoreo de la degradación y deforestación deben considerar establecer un tiempo o línea base, tanto de referencia temporal como de punto de estado, basándose en dos componentes: datos de actividad para evaluar los cambios en promedio de las reservas forestales, así como, en las unidades de área en el tiempo de los cambios de uso del suelo. Estas medidas generalmente de tipo satelital, es recomendable complementarlas con medidas sobre el terreno basadas en Inventarios forestales, datos de estudios de campos específicos, parcelas permanentes en bosque e incluso datos forestales comerciales. Determinar diferentes grados de degradación puede ser complejo debido a la naturaleza del proceso y dependerá tanto del estado inicial, como de las medidas para cuantificarlo. Para determinar los cambios forestales se requiere de la especificación de valores de umbral para establecer los límites entre bosque no deforestado y bosque deforestado y bosque degradado y superficie deforestada.

Pese a la falta de consenso y la ausencia de datos complejos, algunos estudios indican que entre el 30 y 40% del área forestal en los trópicos puede estar degradada. A pesar de estados de conocimiento y datos disponibles, todos estos estudios de caso ponen en manifiesto la necesidad de avanzar en el estudio de los efectos de deforestación en la región. Ciertamente, los bosques latino americanos albergan una parte importante de la biodiversidad mundial y son un componente fundamental del sistema climático, haciendo la reducción de la deforestación y la degradación sean unas de las acciones para contribuir a la mitigación del cambio climático global, así como de la restauración de los bosques degradados, se proponer adoptar un marco de políticas que responda a las diferentes situaciones en los procesos de conversión de bosques a otros usos. Entre estas medidas están la conservación y el uso sostenible de las áreas pocas amenazadas, controlar la expansión agrícola, elaborar planes de uso del suelo, realizar actividades de restauración y realizar producciones sostenibles y ecológicamente amigables con el ambiente (Müller et al. 2014).

## CAPÍTULO 4

La deforestación implica la pérdida de cobertura y prácticamente es definida por una variable binaria, bosque-no bosque. En este sentido, es importante establecer un tiempo o línea base, tanto de referencia temporal como de estado de partida para distinguir las diferentes causas o la causa específica y los grados de degradación que estén afectando una zona determinada (Lanly 2003; Thompson et al. 2013; Morales-Barquero et al. 2014; Bustamante et al. 2015).

La medición de la deforestación y de los cambios de uso del suelo en el área de estudio, se pueden obtener a partir de imágenes satelitales incorporando a un sistema de monitoreo de bosques. Los parámetros que permiten medir este proceso y para la evaluación del cambio del uso del suelo se realizó la digitalización de las distintas clases de uso del suelo del bosque, la cual se basó en la identificación de la variedad de coberturas en el territorio, en las temporalidades de los años 1994 y 2015, lo cual permitió expresar las diferencias en las zonas de observación.

El área de estudio de Bosque de Agua fue elegida de acuerdo al proyecto que pertenece éste proyecto de investigación, el cual es "*Evaluación de los cambios de cobertura forestal en Áreas Naturales Protegidas*", por lo cual se busca realizar una descripción de los cambios de la cobertura forestal y uso de suelo en la zona central del país, utilizando una matriz de tabulación cruzada donde se observe la dinámica entre categorías. Con el fin de comprender los procesos de pérdida de la masa forestal en el periodo estudiado. El BA se localiza en la Sierra de las Cruces, dado por su morfología y método de estudio se divide en tres bloques: el norte, centro y el sur.

En la metodología se diseñó que permitiera evaluar los cambios de densidad de cobertura forestal entre los años 1994 y 2015. Por tanto, la deforestación es considerada como la disminución de la cobertura forestal a menos del 10% (FAO, 1995). En cambio, la degradación forestal incluye cambios dentro del bosque que afecta negativamente (FRA, 2005).

Los procesos de cambio de cobertura forestal, se pueden diagnosticar en positivos y negativos. Dentro de los primeros se encuentran la densificación, la revegetación, que es el cambio de terreno deforestado a uno forestado, y la forestación como cambio de ocupación del suelo a terreno forestal. Este último proceso se da únicamente por reforestación. Los cambios negativos son la degradación, que es disminución de la densidad y la deforestación, la cual se define como el cambio de uso del suelo de forestal a no forestal (ocupación) (SEMARNAP, 1998).

El objetivo de este apartado de la metodología es evaluar los cambios de la cobertura forestal en el bloque centro del Bosque de Agua, del periodo 1994-2015, además de calibrar la metodología para la detección de cambios, con el fin de caracterizar el área. Una vez definidas las clases, se procedió al análisis del cambio en los usos de suelo de las dos temporalidades, mediante las pérdidas y ganancias en hectáreas de las clases definidas. A continuación, se va a abordar el caso de estudio, así como la elaboración del material mediante el procesamiento de imágenes satelitales para dar lugar a la clasificación de cobertura forestal del área de estudio a través del software empleado del ArcMap.

## 4.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La zona de estudio fue elegida bajo el proyecto que pertenece este trabajo de investigación. El trabajo se dividió en 5 principales etapas:

1. Elección del área de estudio y recopilación de información bibliográfica.
2. Recopilación y preparación del material digital (archivos shape, ortofotos e imágenes spot).
3. Clasificación de la densidad de coberturas forestales.
4. Interpretación visual de la cobertura forestal en el área central del Bosque de Agua.
5. Comparación e identificación de los cambios en la cobertura forestal en el área de estudios en los periodos de 1994 y 2015 (ortofotos e imágenes SPOT).
6. Obtención de matrices de cambio y análisis de los resultados.

En el análisis del cambio de uso de suelo, se han realizado diferentes estudios de la transformación de la cobertura vegetal y el uso de suelo con la aplicación de tecnología satelital. Esta tecnología en el monitoreo de la cobertura vegetal representa la efectividad de la estrategia de protección, obteniendo resultados favorables en cuanto a evitar la pérdida y modificación de la vegetación, así como identificar los factores que la han degradado.

En este estudio es de nuestro interés el concepto de cobertura del suelo, y se refiere a la descripción de la materia física en la superficie de la Tierra que se conforma de carácter natural (vegetación y fauna) así como, de carácter antropogénico (localidades, ciudades, suelo agrícola o ganaderos, etc.). En cambio, el término “uso del suelo”, el cual está definido por las modificaciones derivadas de la actividad humana en el territorio (Biodiversidad Mexicana, 2012), es decir, la manera en la cual el ser humano utiliza dichas coberturas.

En este sentido para delimitar y cuantificar los cambios de la cobertura vegetal y usos de suelo se emplean métodos tradicionales, por ejemplo, trabajos de campo, revisiones bibliográficas, interpretación de mapas o análisis auxiliares, sin embargo, estos métodos consumen mucho tiempo, no hay garantía que se encuentren actualizada la información, a menudo son demasiados costosos, y no está dentro de los objetivos en este trabajo de investigación. En cambio, las imágenes satelitales, forma parte esencial de la tecnología de la teledetección que ofrece un método práctico y económico para estudios enfocados



al análisis del cambio en la cobertura y uso de suelo (Xie et al., 2008). Esto se lleva a cabo con la aplicación de los satélites, con sus respectivos sensores, para realizar observaciones a diversas escalas y su acceso a esta información. Durante los últimos años ha crecido la demanda de emplear las imágenes satelitales para múltiples aplicaciones. La NASA, junto con el gobierno de los Estados Unidos ponen a disposición imágenes LANDSAT de casi toda la cobertura terrestre cuya utilidad en este estudio se enfoca para el monitoreo de la vegetación, en el estudio de los recursos naturales, cambios de cobertura y de cultivos.

Chuvieco (1990) nos menciona los elementos principales que incluye un sistema teledetección espacial, son los siguientes: *fuerza de energía*, flujo detectado por el sensor satelital, y la fuente de energía más importante que es la solar; *cubierta terrestre*, formada por la superficie terrestre (vegetación, suelos, agua o construcciones humanas); sistema sensor, tiene como objetivo captar la energía procedente de la cubierta terrestre, codificarla y grabarla y enviarla al sistema de recepción; *el sistema de recepción-comercialización*, donde se recibe la información transmitida por la plataforma que se graba en un formato y se distribuye a los interpretes; *interpretes*, quien analiza la información en forma analógica o digital, transformándola en una temática orientada a facilitar la evaluación del problema en estudio; finalmente *usuario final*, encargado de analizar el documento, así como determinar las consecuencias que deriven.

De acuerdo a lo antes anunciado, en esta investigación primero se analizan las imágenes satelitales que disponen de información geográfica con datos sobre el territorio. Posteriormente, se realiza la interpretación tanto visual como digital que es un proceso crucial dentro del análisis. El siguiente paso se realiza la verificación de los resultados obtenidos, para concluir en este estudio de la relación que hay entre la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica, dentro de un planteamiento integrado del análisis medio ambiental y social.

#### 4.1.1. ELECCION DEL AREA DE ESTUDIO Y RECOPIACION DE INFORMACION

La zona de estudio fue seleccionada con base al proyecto de investigación que pertenece este trabajo, el cual es "Evaluación de los cambios de cobertura forestal en Áreas Naturales Protegidas", lo cual busca generar y complementar cubrir toda el área forestal de la zona centro del país que va a partir de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca (RBMM), el Área Protegida de la Reserva Natural del Valle de Bravo (APRNVB), Área de Protección de Flora y Fauna Nevada de Toluca (APFFNT), y el Corredor Biológico Chichinautzin (CBCH).

Posteriormente, se inició a realizar la búsqueda de información y bibliografía contando con publicaciones de distinta literatura referente a temas de bosque, deforestación, cambio de uso de suelo y de áreas naturales protegidas, además de los distintos sitios por internet, especializados en el tema de nuestro interés, así como en dependencias gubernamentales, tales como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Instituto Nacional de Ecología (INE), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), y en institutos de investigación.

Esta búsqueda información fue recopilada y sintetizada para generar el contenido de la investigación, así como esta en función para el entendimiento del análisis de la zona en cuestión, y de este modo comprender la situación geográfica en base a la interpretación visual en conjunto con la aplicación de los sistemas de información geográfica, la cual se hará referencia en las siguientes etapas de la metodología.

#### 4.1.2. RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL DIGITAL

Actualmente contamos con proyectos satelitales que analizan el monitoreo de recursos naturales, principalmente cobertura vegetal, los proyectos más conocidos son LANSAT y SPOT, han empleado dicho proceso para determinar los tipos y extensión de los cambios que se dan en la superficie terrestre. De este modo, las técnicas para detección de cambios se consideran cuatro componentes esenciales (Ramos, 2017):

- Pre-procesamiento de las imágenes de entrada. Se eligen imágenes dentro del intervalo de tiempo de interés y se define (delimitar) el área de estudio.
- Método de comparación. Para ello, se realiza una clasificación de las imágenes pre-procesadas a partir de la unidad de análisis.
- Unidad de análisis. La más aplicada es el pixel y se define como el elemento fundamental de una imagen. El tipo de información que brinde se puede clasificar como continua o temática y se realiza una comparación, el cual consiste en la transposición de dos mapas generados a partir de dos clasificaciones supervisadas obtenidas de imágenes multiespectrales, evaluadas en diferentes fechas.
- Mapa de cambios derivado. Determina las zonas donde se presentan cambios a partir de interpretación y evaluación de la exactitud en cuanto a la identificación de cambios.

El material utilizado para este trabajo fueron las imágenes SPOT del 2015, las cuales se solicitaron a la ERMEX-SPOT (Estación de Recepción México-SPOT) a través de la SAGARPA. Para este trabajo, se utilizó solamente la imagen pancromática, cuya resolución es de 1.5m/píxel. Adicionalmente, se solicitaron a INEGI un total de 32 ortofotos de 1994 de escala 1: 20,000 con resolución de 1.5m por píxel.

Para fines de esta investigación se digitalizó la cobertura forestal del año 1994 utilizando ortofotos a escala de 1:20,000 blanco y negro de INEGI, con resolución de 2m por píxel e imágenes satelitales SPOT del año 2015. Con ello se realizó a una resolución en pantalla de 1: 5000 siendo 1000 m<sup>2</sup> el área mínima cartografiable. Tanto las imágenes SPOT como las ortofotos fueron reproyectadas el sistema UTM, zona 14N y con Datum WGS84.

### 4.1.3. CLASIFICACIÓN DE LA DENSIDAD DE LAS COBERTURAS FORESTALES

La distribución de las zonas arboladas comprende en su conjunto factores de altitud, topografía, exposición y suelo, entre otros, determinan la distribución de las especies a lo largo de la región de estudio; la combinación de estos elementos también influye en la determinación de la calidad de las áreas donde las especies crecen. Es de importancia mencionar que la variable que se determinó en este trabajo es la densidad, medida en términos de la estimación del número de árboles por hectárea; esta distribución indica el comportamiento de la vegetación en general, sin considerar la condición que guarda en términos de su es vegetación primaria o vegetación secundaria, ni del tipo de vegetación que corresponde.

Dentro de esta etapa se determinaron 6 categorías de densidad forestal y otras 6 no forestales, las cuales se digitalizaron a una escala de 1: 5,000, contando el área mínima cartografiable (AMC) 625 m<sup>2</sup> para las áreas deforestadas y las no forestales. Las densidades de cobertura forestal, el AMC fue de 0.7 ha ya que, por definición, el bosque es la superficie arbolada mayor a 0.5 ha de extensión (FAO, 2010). Sin embargo, se realizó una estandarización en la digitalización que se observó que el área mínima se podía discriminar con confiabilidad en las diferentes densidades del bosque, siendo el 0.7 ha.

#### Cuadro 4.1. CATEGORÍAS DE DENSIDAD DE COBERTURA FORESTAL

Clave	Tipo de cobertura	% Cobertura forestal	No. de árboles por hectárea
1	Muy cerrada	>100	>500
2	Cerrada	75 – 100	375-500
3	Semicerrada	50 – 75	250-375
4	Semiabierta	25 – 50	125-250
5	Abierta	10 – 25	50-125
6	Deforestada	<10	<50

Cuadro 4.1. Categorías de densidad de Cobertura Forestal. Claves propuestas para fines de esta investigación proyecto PAPIIT IN205215 "Evaluación de los cambios de cobertura forestal en Áreas Naturales Protegidas. (López-García, 2005 y 2006).

En el cuadro 4.1. Se muestran las categorías para el estudio va de "Muy Cerrada" (>100%) a "Deforestada" (<10 %) mediante agrupación de la cubierta forestal, y proceder al etiquetado de los polígonos, según categorías de cobertura preestablecidas, de manera que fuera más objetiva respecto a los cambios de densidad de cobertura forestal.

Posteriormente, se realizó la gráfica de densidades de la cobertura total de la zona, como lo planteó Moncayo y colaboradores (1970), por tipo de vegetación primaria, con datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos se extrajeron los recuerdos de densidades de 1 ha de las imágenes SPOT5, correspondiente a las siguientes categorías:

## Figura 4.1. CLASIFICACIÓN DE COBERTURA FORESTAL

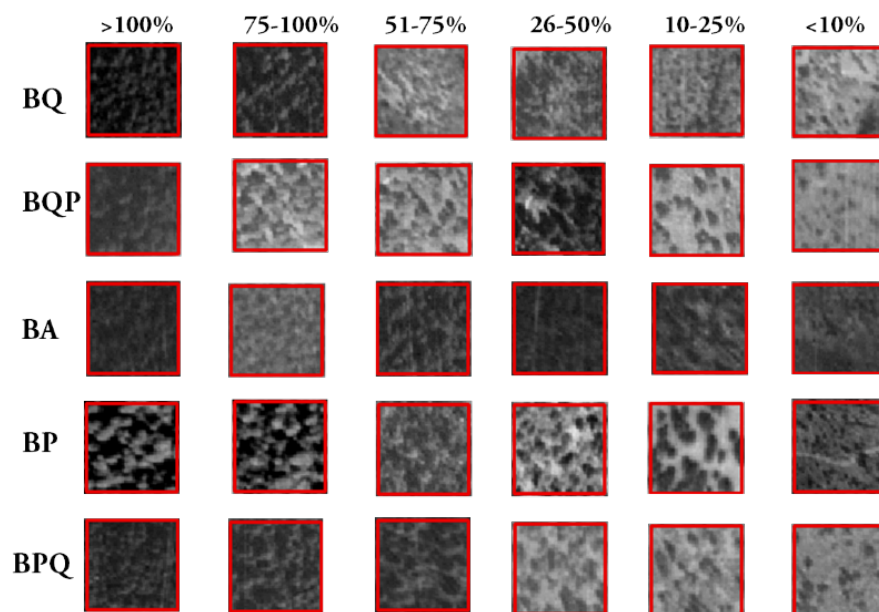


Figura 4.1. Clasificación de Cobertura Forestal. Densidades por tipo de vegetación Escala 1:10,000. BA) Bosque de Abies; BP) Bosque de pino; BPQ) Bosque de pino-encino; BQP) Bosque de encino-pino; BQ) Bosque de encino. Propuesta para fines de esta investigación proyecto PAPIIT IN205215 "Evaluación de los cambios de cobertura forestal en Áreas Naturales Protegidas. (López-García, 2005 y 2006).

En la figura 4.1. Se aprecia el proceso metodológico principal que se empleó y que permitió la separación en unidades de cambio, mediante el tratamiento de comparación visual entre el mosaico de 1994 y la imagen SPOT5 de 2015 y su posterior digitalización en pantalla para detectar cambios. Así mismo, se etiquetó los tipos de cobertura no forestal de la siguiente manera:

## Cuadro 4.2. COBERTURAS NO FORESTALES

Etiqueta	Tipo de cobertura
7	Pastizal
8	Agricultura
9	Asentamientos humanos
10	Cuerpos de agua
11	Erosión/Sin vegetación aparente
12	Infraestructura

*Cuadro 4.2. Coberturas no forestales.* Propuesta para fines de esta investigación proyecto PAPIIT IN205215 "Evaluación de los cambios de cobertura forestal en Áreas Naturales Protegidas. (López-García, 2005 y 2006).

En este análisis (Cuadro 4.2.) se decidió establecer la agrupación de los usos de suelo "no forestales". Esto permitió obtener mayor definición en la separación de las unidades con el fin de obtener los cambios de uso de suelo del periodo 1994-2015 en la zona de estudio.

Las zonas de bosque templado (Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2014) con cobertura del dosel cerrada, semicerrada y semiabierta, se incluyeron como parte del Bosque de Agua; respecto a las zonas que no tiene bosque, pero su terreno fuera preferentemente forestal (pendiente mayor a 8°), también fueron incluidas. La altitud de los 2,600 msnm se consideró como límite por las zonas asociadas a recarga de acuíferos.

#### 4.1.4. INTERPRETACIÓN VISUAL DEL ÁREA FORESTAL

En esta etapa de la metodología se realizó la fotointerpretación visual para el año del 2015 y la comparación entre el año de 1994 que se deriva la interpretación comparativa. Con el material digital preparado, el siguiente paso fue digitalizar las distintas coberturas forestales de la región de estudio del BA. Se creó un nuevo archivo shape y generar un nuevo campo para designar una etiqueta conforme al tipo de cobertura forestal de la categoría que se tratará.

El análisis de cambios se determinó principalmente por comparación visual en pantalla de mosaico del año 1994 y la imagen SPOT5 de 2015. Esto fue posible con la separación de los cambios de cobertura forestal con una resolución de hasta 5 m<sup>2</sup>, lo cual permitió una discriminación de los cambios con mayor precisión.

Se utilizó como línea base el análisis de las imágenes SPOT 2015, que contiene los tipos de vegetación y densidad de cobertura y sobre éste se realiza la digitalización del año 1994. De esta manera se van actualizando las coberturas en cada análisis. Los datos de tabla fueron exportados en Excel, donde se creó una tabla dinámica y se analizaron los datos para obtener el resultado de los cambios de cobertura forestal de la zona. En esta etapa de la metodología, se empleó el archivo shape del año de 1994, el cual se creó en base al mosaico de ortofotos del mismo año, después fue revisado con topología y etiquetado de forma correcta. Así mismo, fue necesario crear mosaicos con las imágenes SPOT del año 2015.

Se comenzó a digitalizar la cobertura del año del 2015, ya que las imágenes SPOT5 que contaba, ya estaban ortocorregidas atmosféricamente. Una vez terminando este año, se creó una copia del archivo shape y se le agregó otro campo en la tabla de atributos etiquetado como 1994. A este nuevo campo se realizó copia a todas las etiquetas del 2105 y se editó para modificar los polígonos cuya cubierta hubieron cambiado. Este paso se realizó, con el fin de evitar falsos cambios por cambios en el trazo de los polígonos y mantener las etiquetas de origen. Esta interpretación da como resultado los mapas de cobertura del suelo.

Al terminar la digitalización en la región de Bosque de Agua, así como su etiquetación, el archivo shape fue sometido a una Topología. Esto para encontrar un error en el trazado de polígonos y poder corregirlos con el fin de tener un análisis sin errores y obtener los resultados esperados. La ejecución del método de interpretación visual, se realizó mediante de ortofotos de Instituto Nacional de Estadística y Geografía de 1994 e imágenes de satélite SPOT de 2015, que permite conocer los procesos de recuperación y perturbación en la cobertura forestal y evaluar el efecto de las reforestaciones periódicas que ha estado realizando Probosque.



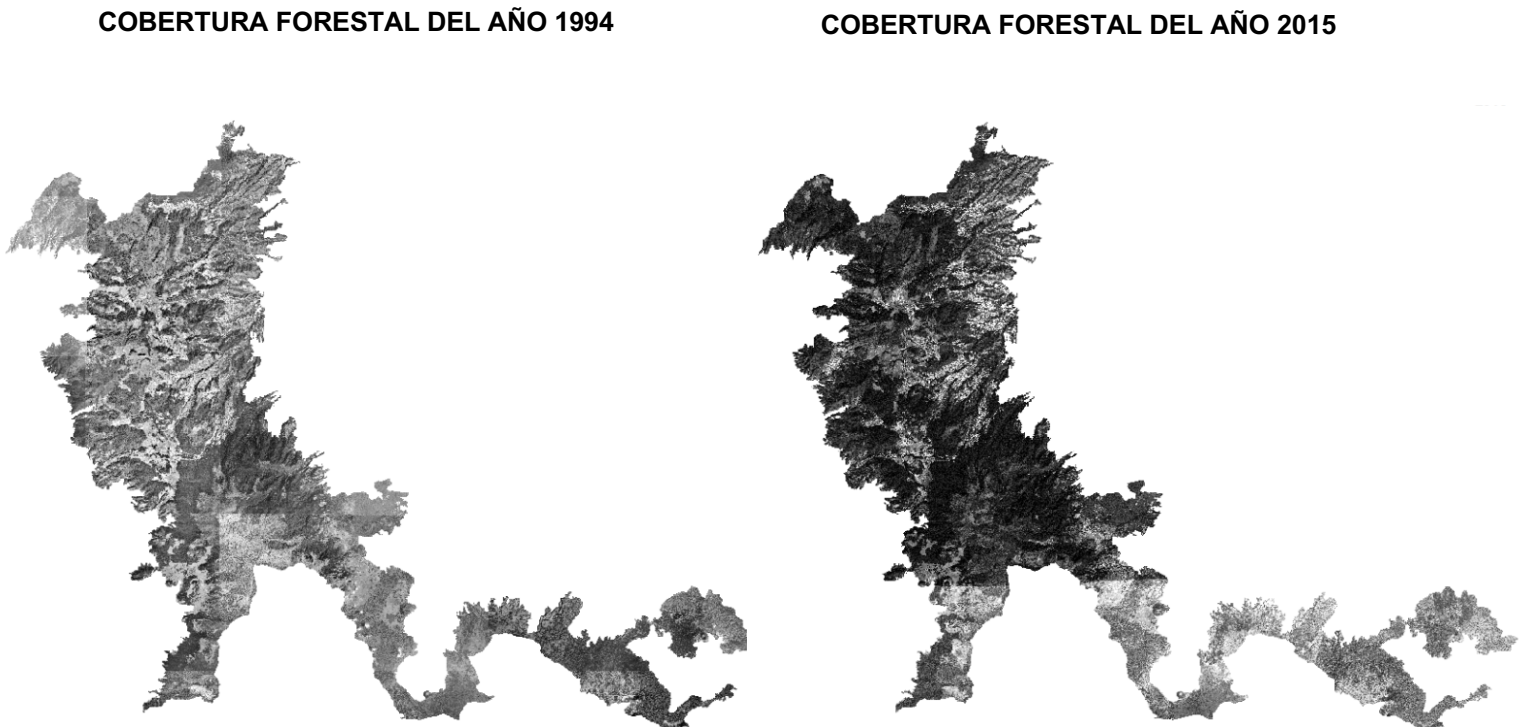
#### 4.1.5. IDENTIFICACIÓN DE LOS CAMBIOS DE LA COBERTURA FORESTAL DE LOS AÑOS 1994 Y 2015

La metodología empleada se basa en la comparación visual de imágenes satelitales de diferentes periodos, para determinar cambios de densidad de cobertura entre el primer y el segundo periodo realizando mediante un análisis por comparación visual. De esta manera, se compararon el mosaico de ortofotos y las imágenes SPOT5, previamente procesada en cuanto a su resolución espacial, por tanto, la importancia de la innovación de una metodología que permitió obtener resultados satisfactorios. (López-García, 2006).

Las categorías de cobertura forestal empleadas para este estudio van de “cerrada” (>80%) a “deforestado” (0%). Para este análisis decidimos establecer la agrupación de los usos del suelo pastizal, agricultura, infraestructura y cuerpos de agua como “No forestal”, de manera que fuera más objetiva respecto a los cambios de densidad de cobertura forestal.

La comparación dio como resultado la identificación de los polígonos que experimentaron alguna modificación en categoría de cobertura. La información se representó en matrices de cambio entre el primer periodo y el segundo, lo que permite analizar los cambios por categoría. El cruce de la información con la tendencia da por resultado los cambios por cobertura forestal.

Esta comparación se realizó exportando la tabla de atributos a Excel y se insertó una tabla dinámica para generar la matriz de cambios, que se explica en el siguiente apartado.



*Figura 4.2. Mosaico de ortofotos (1994) e imágenes SPOT (2015).*

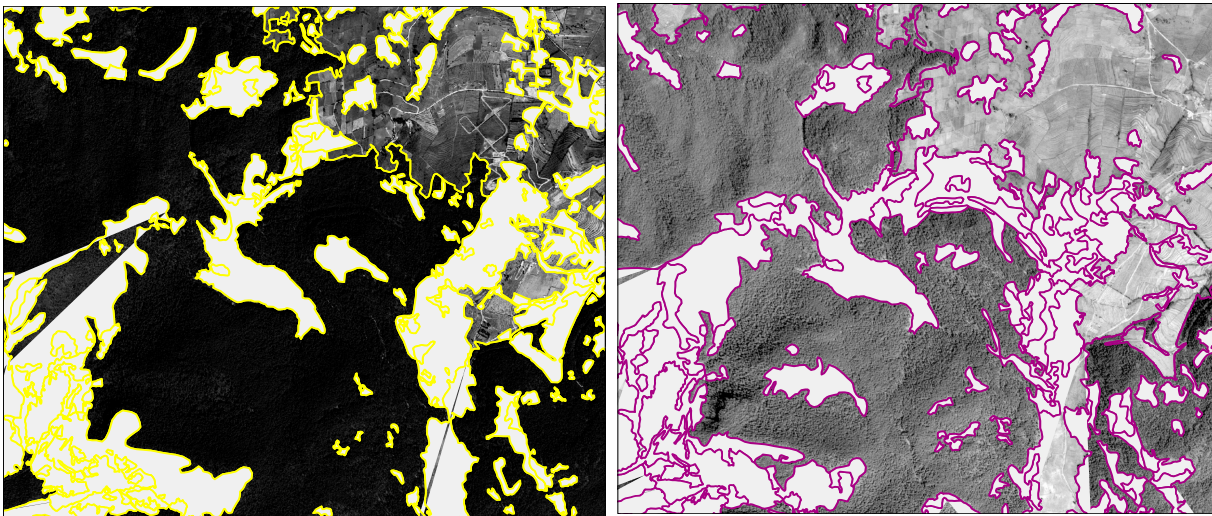
Contando con las orto fotos 1944 y con las imágenes SPOT5, se procedió a realizar la georeferencia de ambas imagines satelitales que fueron procesadas para simular una fotografía digital. Mediante este procesamiento, se obtuvo la mejoría de la resolución espacial de 4m por pixel, que permitió efectuar una comparación en pantalla con la precisión deseada.

#### 4.1.6. ANÁLISIS COMPARATIVO Y OBTENCIÓN DE LA MATRIZ DE CAMBIO

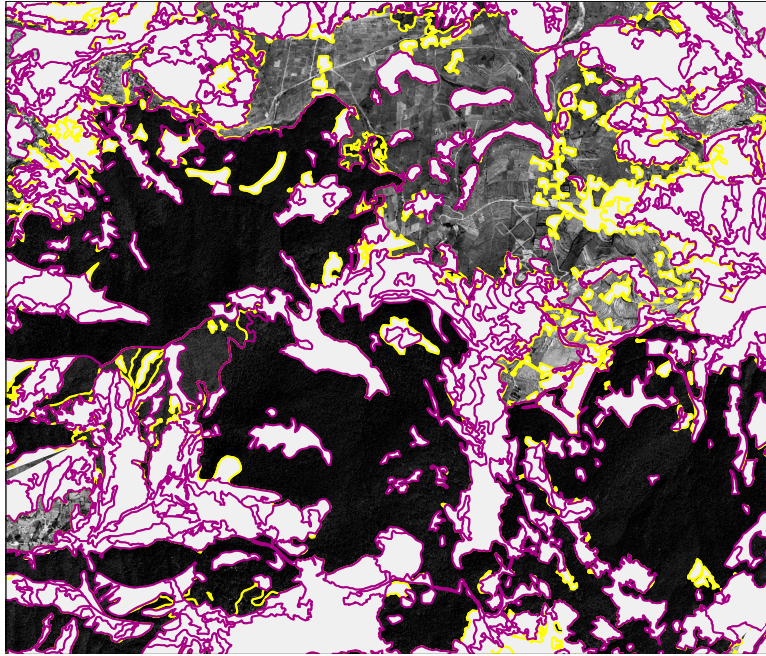
El mapa de vegetación y cobertura de 2015 sirvió como mapa base, ya que se determinó los cambios de 1994, al utilizar de base 2015, permite reducir falsos cambios en las zonas son cambios al hacer el cruce. Para obtener los cambios de cobertura de 2015 se utilizó la imagen SPOT5. Mientras para los cambios de 1994 se realizó con ortofotos, separando los cambios entre estos dos años para después validar los cambios entre estos dos años.

En este estudio se construyeron dos matrices de transición con las superficies obtenidas de los mapas de cambios. A partir de estas matrices de transición de cambios de cobertura forestal. El resultado es la cuantificación de los cambios de densidad de cobertura forestal de distintos periodos.

**Figura 4.3. DIGITALIZACIÓN DE COBERTURAS FORESTALES EN ARCGIS 10.2**



*Figura 4.3. Digitalización de Coberturas Forestales en Arcgis de los años 2015 y 1994*



*Figura 4.4. Unión de coberturas 2015 y 1994*

En las figuras 4.3. y 4.4. Se aprecian el proceso metodológico principal que se recomendó y que permitió la separación de unidades de cambio, por un proceso de comparación visual entre el mosaico 1994 y la imagen SPOT5 de 2015. La comparación de las imágenes dio como resultado la identificación de los polígonos que sufrieron alguna modificación en categoría de cobertura.

## 4.2. MATRIZ DE CAMBIOS PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS

El resultado de los cambios en la cobertura forestal se obtuvo mediante el cruce de mapas de las categorías de cobertura de los años 1994 y 2105. Con ello se creó la Matriz Bidimensional o Matriz de Cambios (López, 2007), de dos periodos de tiempo, uno inicial y otro final. En las filas de la tabla se ubicó el año inicial, mientras que en las columnas de la matriz se colocaron los datos del año final de comparación.

Los cambios por categoría de cobertura son cualitativos (figura 9), para ello se estableció un nivel de intensidad de cambio (impacto) a partir del diseño de una matriz de cambios que agrupa en tres categorías el grado de afectación. En la matriz de cambio, los colores verdes indican recuperación en la cobertura forestal, mientras que los colores naranja y rojo expresan la alteración de la misma. El color gris representa la superficie que permaneció sin cambio.

**Cuadro 4.3. MATRIZ DE CAMBIOS**

1994/2015	Cerrada	Semicerrada	Semiabierta	Abierta	Muy abierta	Deforestado
Cerrada	Nulo					
Semicerrda	Bajo	Nulo				
Semiabierta	Medio	Bajo	Nulo			
Abierta	Medio	Medio	Bajo	Nulo		
Muy abierta	Alto	Alto	Medio	Bajo	Nulo	
Deforestada	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo	Nulo

*Cuadro 4.3. Matriz de Cambios* Cuadro 4.3. Matriz de cambios o Matriz Bidimensional (López, 2007).

De manera complementaria, para establecer una evaluación del cambio de cobertura cuantitativo se diseñó un índice de alteración, en donde al cambio de cobertura se le asigna tres grados de alteración: Alta (A = 3), para cambios de las categorías “Cerrada” y “Semicerrada” a “Muy abierta” y “Deforestado”; Media (M = 2), para cambios de las categorías “Semiabierta” o “Abierta” a “Muy abierta” o “Deforestado”; y Baja (B = 1). El número asignado al grado de alteración se multiplicó por la superficie afectada y se obtuvo el valor del índice de alteración. En verde se señala los procesos de recuperación y en tonos naranja y rojo los de alteración.

En esta etapa de la metodología, una vez finalizando la comparación digital por visualización, dio como resultado la identificación de los polígonos. Esta información se representó en matrices de cambio entre el primer periodo y el segundo, lo que permite analizar los cambios por categorías. Le cruce de información con la tendencia, que da por resultado los cambios por densidad de cobertura forestal.

#### **Cuadro 4.4. PROCESOS DE CAMBIO FORESTAL**

Densificación
Reforestación
Forestación
Degradación
Deforestación
Cambio uso del suelo
No cambio

*Cuadro 4.4. Procesos de cambio forestal. A partir de la metodología para la evaluación de recursos forestales de cambio de la cobertura forestal (López-García, 2007)*

Finalizando el shape de cambio de coberturas, realizado en Arc Map 10.2 se extrajo la tabla de atributos como archivo (.dbf), el cual se exportó en Excel, para así realizar las matrices de Cambio y las áreas serán representadas en hectáreas (ha).

En la matriz de cambio, se tomó en cuenta la cuantificación de los cambios de densidad de cobertura forestal y delimitar de manera detallada, asignándole el nivel de cambio. Los colores verdes indican recuperación en la cobertura forestal, mientras que los colores de tono naranja y rojo representan alteración y de color amarillo expresa cambio de uso de suelo. El color gris es la superficie que permaneció sin ningún cambio.

## CAPÍTULO 5

### 5.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ÁREA DE ESTUDIO BOSQUE DE AGUA

En el estudio se obtuvieron los mapas de clasificación de cobertura forestal y uso de suelo del Bosque de Agua del área central. La fotointerpretación dió como resultado el mapa de densidades de coberturas forestales y el uso del suelo de los años 1994 y 2015, además representa el estado general de la vegetación forestal en la zona central del Bosque de Agua. Después del procedimiento de las imágenes, para su correspondiente interpretación, el siguiente paso fue la comparación de resultados de ambos periodos. Con ello se obtuvo los patrones de cambios o de permanencia de la cobertura forestal de la región del Bosque de Agua.

Mediante la interpretación densidad de cobertura forestal, se pudo detectar las zonas de cambios y delimitar de manera detallada sobre imágenes satelitales los cambios, asignándole el nivel de cambio, permitiendo la correcta separación de los cambios en la densidad de cobertura forestal. En esta investigación, se realizó la separación de cobertura entre las masas boscosas que están muy cerradas y las que están muy abiertas, y después se analizó cómo se modificó en 21 años.



## 5.2. ANÁLISIS DE CAMBIOS DEL PERIODO 1994-2015

En la obtención de resultados de las coberturas se agruparon conforme a las características de alguna categoría para establecer la zona en conjunto. Por último, se realizó la comparación entre los mapas de cobertura forestal de 1994 y 2105, para identificar las áreas de cambio.

Una vez terminada la digitalización y la clasificación de la cobertura forestal por tipo de densidad, se compararon los cambios de cobertura del año 1994 con la del 2015. Con ello se determina los procesos de cambios.

**Cuadro 5.1. CUANTIFICACIÓN DE LOS CAMBIOS DE CUBIERTA FORESTAL DEL BOSQUE DE AGUA DE LA MATRIZ DE CAMBIOS**

Proceso	Hectáreas	%	% total
Densificación	12710,61	14,46	23,00
Reforestación	2450,85	2,79	
Forestación	5058,36	5,75	
Degradación	6385,45	7,26	12,39
Deforestación	1443,18	1,64	
Cambio uso de suelo	3067,66	3,49	

*Cuadro 5.1. Cuantificación de los Cambios de Cubierta Forestal del Bosque de Agua.* Cuantificación de los cambios de cubierta forestal, elaboración propia a partir de la obtención de los resultados de la matriz de cambios a nivel general en el Bosque de Agua. (López, 2007).

El análisis obtenido de acuerdo a la matriz de cambios de cobertura forestal en el periodo de años 1994 a 2015 la extensión territorial de 31116.11 ha, tuvieron algún cambio en su cobertura, lo que representa el 35.39 % del total de superficie dentro de la región central del Bosque de Agua.

Los resultados cuantitativos obtenidos de la clasificación digital de las imágenes, así como el patrón de cambios a lo largo de los años 1994 a 2015 de cada una de las clases se presentan en el cuadro 8, en la que se reporta la superficie calculada (hectáreas) y el porcentaje registrado por año.

De este porcentaje el 23% fueron cambios denominados de recuperación, siendo la densificación el proceso dominante con 12710.61 ha. En cuanto a los procesos de alteración arroja un 12.39%, el cual, el cambio de uso de suelo fue el proceso más representativo dentro de la región con un 3.49% (3067.66 ha).



La matriz de cambios general (Cuadro 9) y la gráfica 1 de coberturas muestran que las coberturas muy cerrada, cerrada y asentamientos humanos fueron las que aumentaron para el 2015. Las coberturas que disminuyeron fueron la semicerrada, semiabierta y abierta; mientras que la de pastizal y la agricultura disminuyeron considerablemente. La deforestación es la que más se mantiene aumentando ligeramente con 545.26 ha.

**Cuadro 5.2. MATRIZ DE CAMBIOS DE COBERTURA FORESTAL EN EL BOSQUE DE AGUA 1994-2015**

Coberturas Bosque de Agua	2015							TOTAL	
	MUY CERRADA	CERRADA	SEMI CERRADA	SEMI ABIERTA	ABIERTA	DEFORESTADO	USO DE SUELO		
1994	MUY CERRADA	25359,82	2568,54	553,30	109,44	87,35	298,84	314,03	29291,32
	CERRADA	3779,80	6156,56	1355,40	354,71	128,75	343,60	464,57	12583,39
	SEMI CERRADA	1628,14	3083,06	1907,92	568,19	304,41	348,71	462,01	8302,44
	SEMI ABIERTA	427,72	1025,47	909,96	756,36	355,36	238,83	416,46	4130,16
	ABIERTA	304,26	618,60	549,36	384,25	503,53	213,20	371,01	2944,21
	DEFORESTADO	642,76	816,41	381,14	365,65	244,90	2393,41	1039,57	5883,82
	NO FORESTAL	793,94	1003,39	652,74	450,48	387,42	1770,40	19726,00	24784,36
<b>Total general</b>	<b>32936,44</b>	<b>15272,02</b>	<b>6309,82</b>	<b>2989,08</b>	<b>2011,71</b>	<b>5606,98</b>	<b>22793,66</b>	<b>87919,70</b>	

Cuadro 5.2. Matriz de cambios 1994 – 2015. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos a través de la tabla en Excel. Para analizar los resultados de la matriz de cambios, se optó por transformar la información cartográfica formato matricial. La matriz de transición generada por la transposición cartográfica de los mapas de cobertura vegetal y uso de suelo se ilustra en los cuadros 8 y 9, mismas que describen la dinámica de cambios registrados en el Bosque de Agua en términos de ganancias, pérdidas e intercambios entre las diferentes clases consideradas en este estudio.

Dentro del porcentaje de cambios (Cuadro 8), el 23% (20219.82 ha) corresponde a la recuperación causada por la densificación y la revegetación del área. Por otro lado, el 12.39% (10896.29 ha) fue de alteración, provocado por la degradación, así como de la deforestación y cambio del uso del suelo del Bosque de Agua. En la matriz de cambio, los procesos se expresan de la siguiente manera:

*Densificación:* cuando una categoría de bosque (1 a 5) 1994 pasa a una categoría más alta en el año 2015.

*Revegetación:* cuando la categoría deforestado (6) pasa a una categoría de cobertura forestal (1 a 5).

*Forestación:* cuando la categoría no forestal (7 a 12) pasa a una forestal (1 a 5).

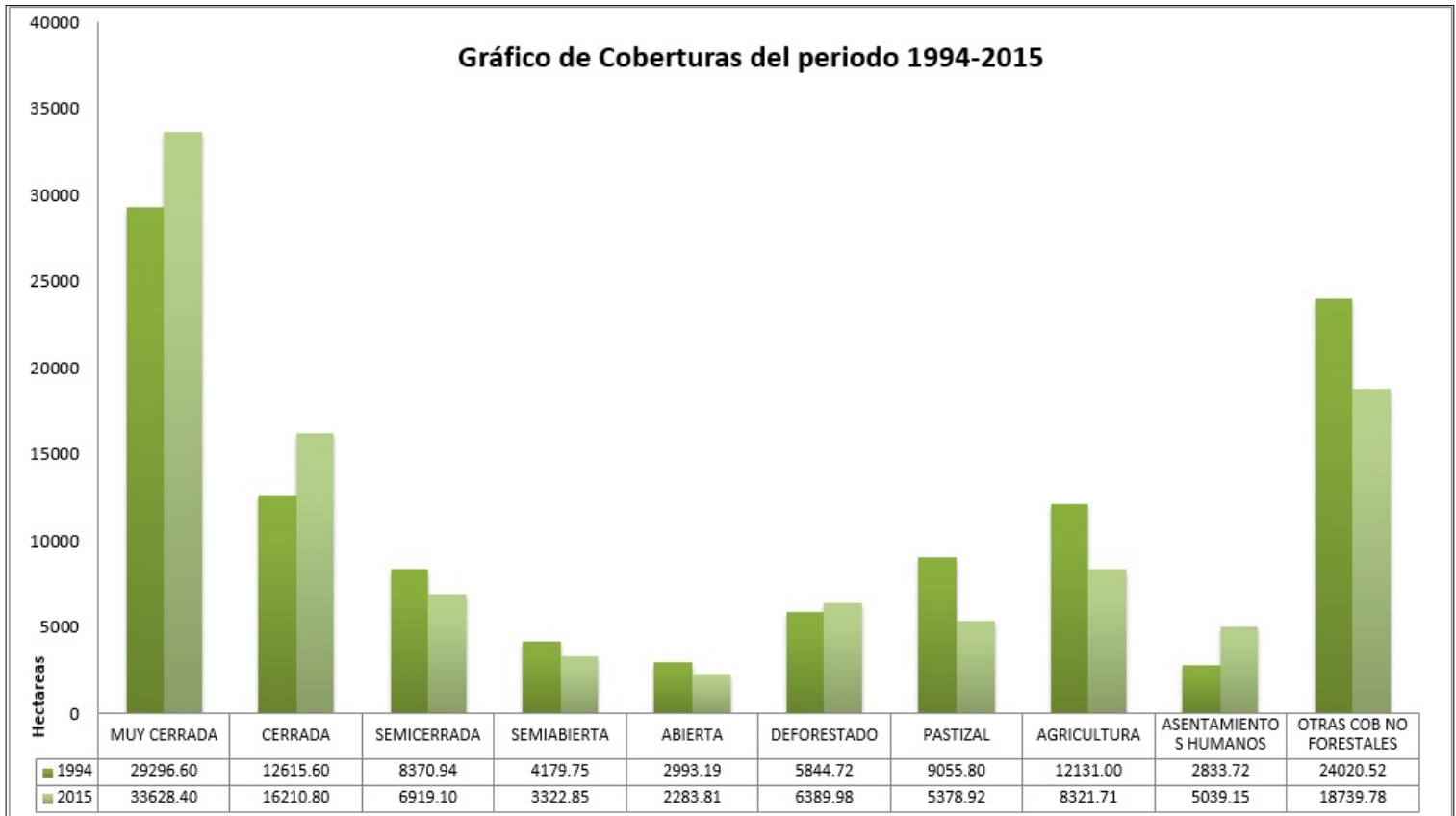
*Degradación:* cuando la categoría de bosque (1 a 5) pasa a una categoría más baja.

*Deforestación:* es el cambio de una categoría forestal (1 a 5) a deforestado (6).

*Cambio de uso de suelo:* cuando una categoría forestal (1 a 5) para a una categoría no forestal (7 a 12).

*No cambio:* cuando la superficie dentro de una categoría permanece dentro de la misma.

*Cambios no forestales:* se presenta cuando una categoría no forestal (7 a 12) pasa a otra del mismo grupo.



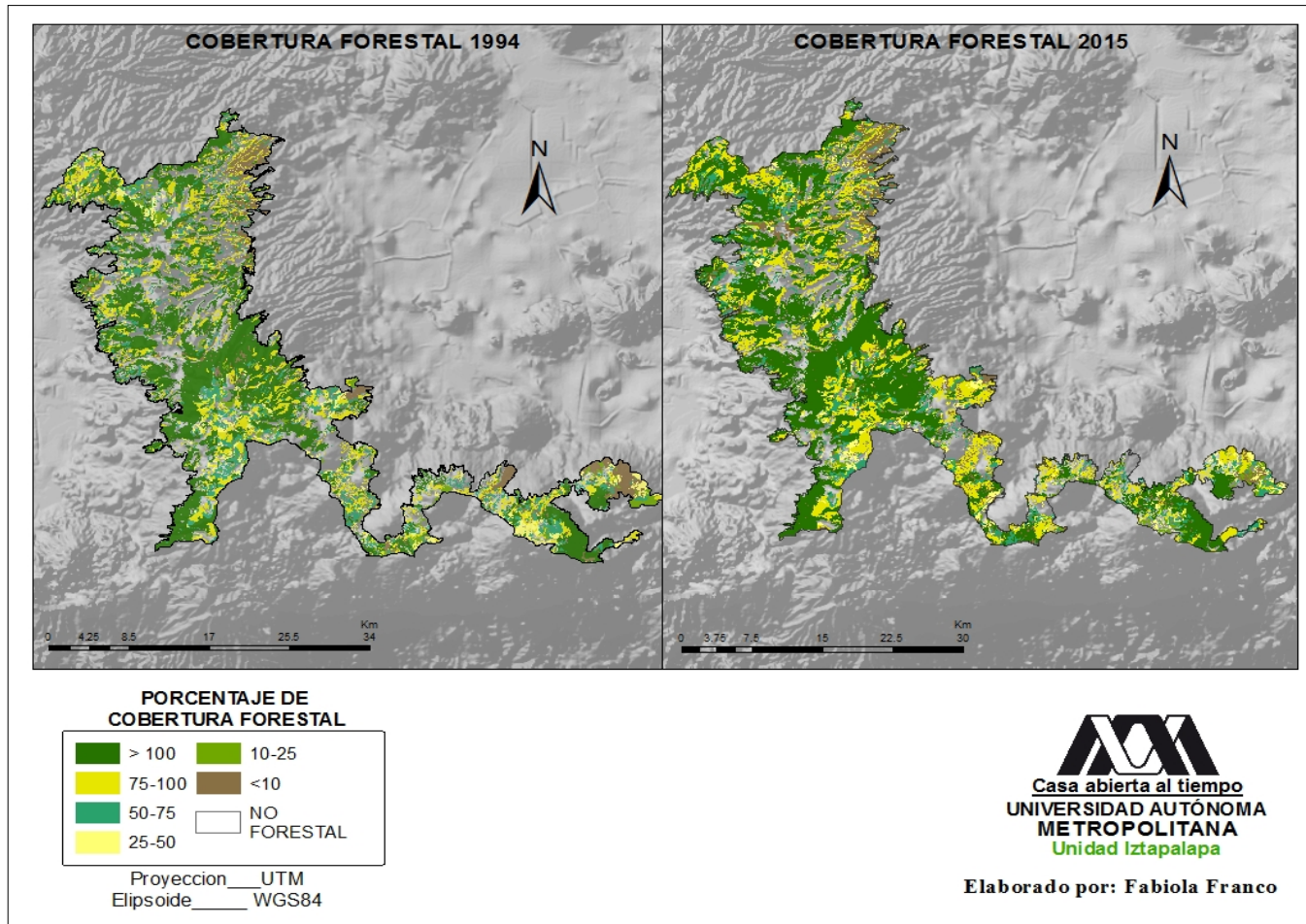
*Gráfica 5.1. Cambios de coberturas del Bosque de Agua 1994-2015*

Los resultados cuantitativos (Gráfica 1) fueron obtenidos de la clasificación digital de las imágenes, así como el patrón de cambios a lo largo de la temporalidad 1994 a 2015 se presenta en la Gráfica 1, en la que se reporta la superficie calculada (hectáreas) y el porcentaje registrados por año. En esta tabla se observa que las clases que predominaron fueron la Muy cerrada y la cerrada (densificación), obteniendo mayores ganancias, en contraparte, la clase que figuró menos fue la categoría abierta. Asimismo, se observa la categoría de agricultura sufrió pérdida de cobertura; de manera contraria el suelo urbano presentó un aumento en su cobertura.

Un resumen de los resultados se presenta en la gráfica 6.1., donde se observa que en 1994 las áreas agrícolas ocupaban el 13.79% de la superficie de la región (12131 ha), los bosques 65.34% (57455.48 ha). Mientras que, en el año 2015, las áreas agrícolas ocupan el 9.46% (8321.71 ha) con una considerable disminución en esta categoría. Se observa al hacer la comparación entre la temporalidad 1994 y de 2015, que no hay grandes cambios en la distribución general de las coberturas. Por su parte, los asentamientos humanos y zonas urbanas aumentaron 2205.43 ha. Respecto a los procesos de recuperación, que en general fueron los más dominantes, destacan la forestación y la reforestación. En los dos casos, la cobertura beneficiada de estos procesos fue la cerrada, que aumentó 4331.80 ha. Tomando en cuenta que los cambios son dinámicos es necesarios establecer una nueva línea de base en 2020, ya que hay cambios acumulativos que se detectan con más de 5 años, tanto positivos como negativos.

Según el balance, se observa más recuperación que pérdidas. En este caso, se ha incrementado la cobertura de masas boscosa principalmente las zonas recuperadas son de pinos, por ser la especie que mayormente se reforesta. Por lo tanto, el bosque de agua la recuperación fue de 52%, contra 47% de perturbación, indicativo de la recuperación de los bosques en el centro del país.

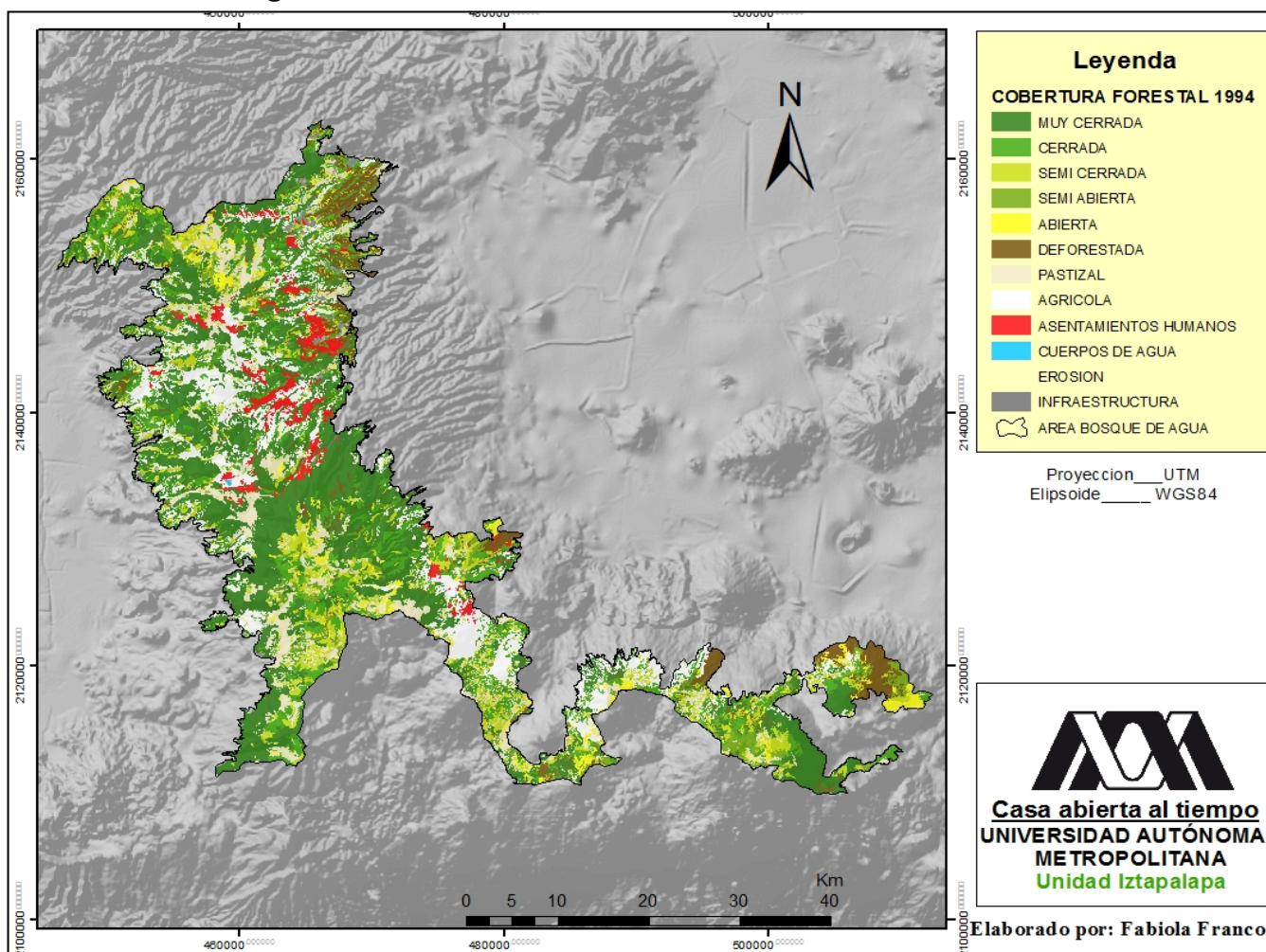
**Figura 5.1. PORCENTAJE DE COBERTURA FORESTAL PERIODO 1994 – 2015**



*Figura 5.1. Porcentaje de Cobertura Forestal Periodo 1994-2015. Comparación del porcentaje de cobertura forestal 1994 y 2015. Elaboración propia a partir de lo obtenido en este estudio.*

En el mapa de la Figura 5.1. Se muestran la comparación de cobertura vegetal con rangos de porcentaje que presentó la cobertura vegetal para el periodo 1994 a 2015. El color en verde oscuro representa el grado de la densificación del bosque, los demás tonos cuentan con menos del 75% de cubierta vegetal, y el color gris son áreas no forestales del BA. La densidad o la extensión de la cobertura es la relación entre vegetación y tipo vista desde la imagen satelital realizando un cálculo de la densidad mediante la clasificación de la superficie de suelo desnudo frente a cobertura de forestal en el área de estudio.

**Figura 5.2. TIPOS DE COBERTURA FORESTAL DEL AÑO 1994**

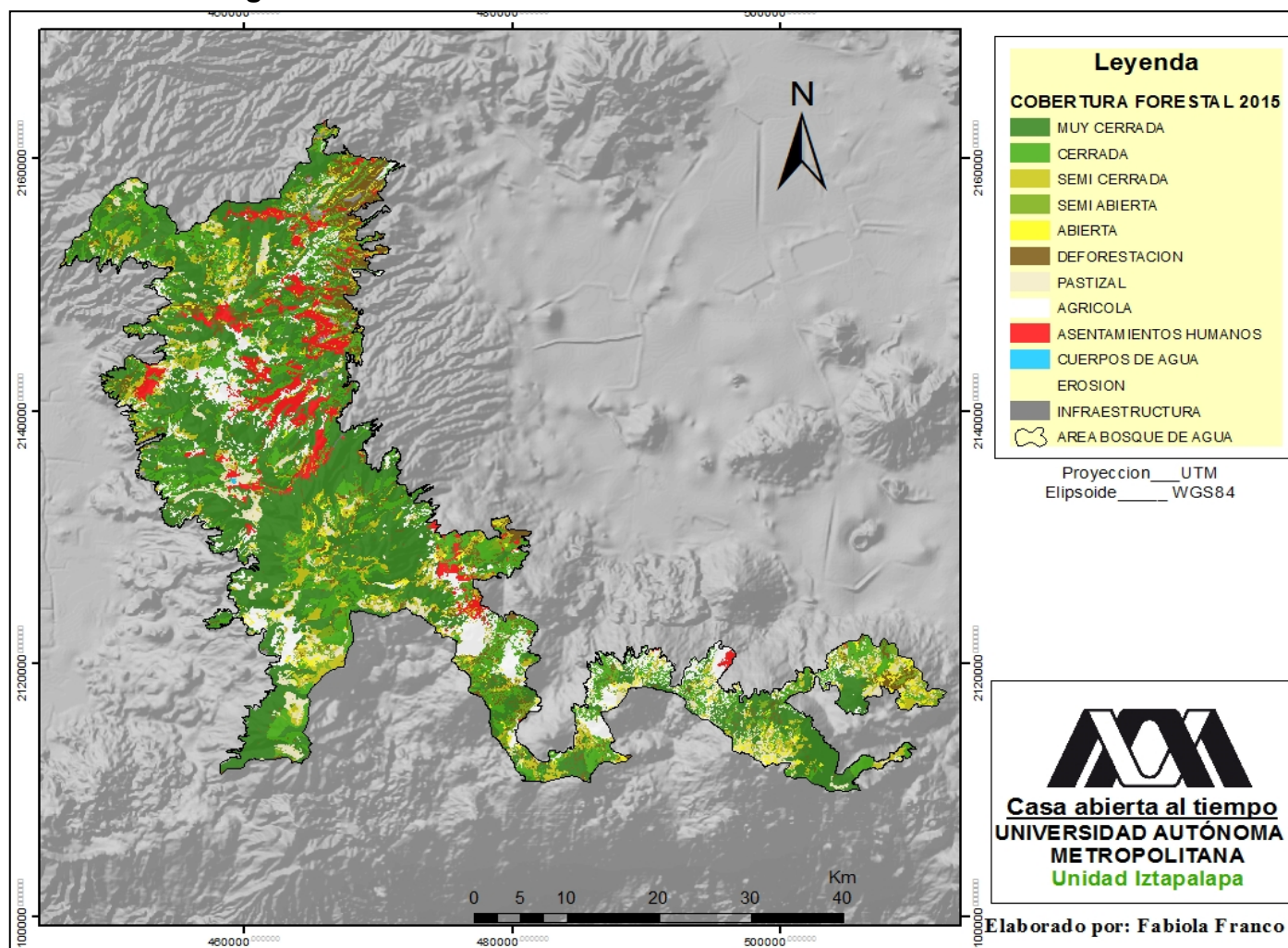


*Figura 5.2. Tipos de Cobertura Forestal del año 1994. Elaboración propia a partir de lo obtenido en este estudio.*

La cobertura forestal, definida como bosque para la clasificación de un tipo de vegetación debe contar un aporte mínimo de 5 metros de altura total y con una cubierta mínima del 10% de las copas de los árboles; dentro de esta clasificación se incorporan los bosques densos (>40% de cobertura), los bosques abiertos (>10% a < 40% de cobertura), los bosques fragmentados y las áreas deforestadas (<10%), así como las coberturas no forestales (pastizal, agrícola, asentamientos humanos, erosión, infraestructura y cuerpos de agua).



**Figura 5.3. TIPOS DE COBERTURA FORESTAL DEL AÑO 2015**



*Figura 5.3. Tipos de Cobertura Forestal del año 2015. Elaboración propia a partir de lo obtenido en este estudio.*

Se puede apreciar en los mapas de cobertura forestal (figura 6.2 y 6.3), los bosques densos corresponden a las zonas montañosas del Bosque de Agua. El mapa de cobertura forestal (figura 6.3.) del año 2015 se puede observa que disminuye considerablemente la cobertura deforestada, sobre todo en la zona central de la region. Este primer análisis realizado de manera global mediante a la categorizacion de coberturas forestales. En una primera vision de la calificacion, permite una efectiva agrupacion de las coberturas forestales entre la comparación de dos periodos periodos que permite incorporar los tipos de vegetacion forestal y no forestal un mismo esquema basado en la condicion de densidad (bosques densos y abiertos).

**Figura 5.4. PÉRDIDAS Y GANANCIAS DEL ÁREA DE ESTUDIO CAMBIOS DE COBERTURA FORESTAL DEL PERIODO 1994-2015**

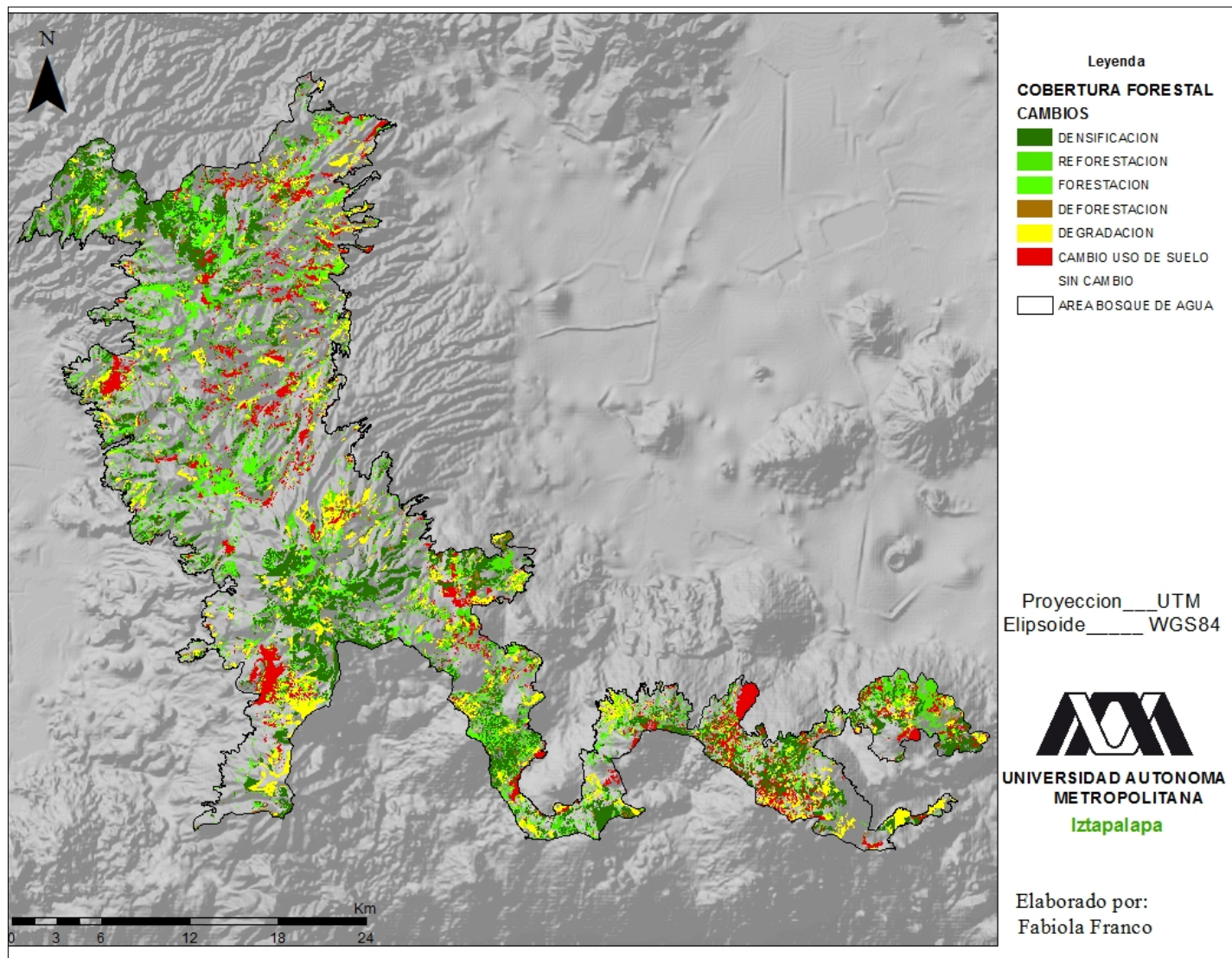


Figura 5.4. Pérdidas y ganancias del Área de Estudio cambios de cobertura forestal del periodo 1994-2015. Cambios de cobertura forestal 1994-2015. Elaboración propia a partir de lo obtenido en este estudio.

Una vez elaborado el mapa base 2015, el siguiente proceso consistió en obtener los cambios de coberturas para los años 1994 y 2015. Para detectar los cambios consiste en realizar combinaciones mediante un cruce de los mapas de las dos temporalidades (matriz de cambios) y determinar lo que es Bosque, no bosque, o sea Ganancia y pérdida, y permanencia (sin cambio). Los procesos de cambios de cobertura obtenidos son: densificación, reforestación, forestación, deforestación, degradación, cambio uso de suelo y sin cambio.

Los resultados de los mapas se obtuvieron mediante la clasificación de cobertura vegetal y uso de suelo del Bosque de Agua para diferentes años agrupándolos por temporadas. En el mapa de cambios de cobertura forestal se observan más los cambios de recuperación (en verde), que los de alteración (naranja, rosa y rojo). Sin embargo, el cambio de uso del suelo está presente en toda la región. La zona donde se observa más alteración se concentra en parte oriente por la cercanía de la Cuenca del Valle de México, a diferencia del poniente, debido a la manifestación del cambio de uso del suelo.

De manera general, se observa que el análisis de cobertura forestal y el uso de suelo mediante le teledetección permitió precisar la distribución de las coberturas del Bosque de Agua en los últimos 20 años e identificar y caracterizar los cambios de manera integral en este estudio. La evaluación de los cambios ocurridos de los ecosistemas y con ello, los servicios ambientales directos e indirectos asociado de múltiples factores que inciden en el desarrollo de procesos de transformación de los ecosistemas tales como procesos socioeconómicos y culturales vinculados a la deforestación y al cambio de uso de suelo y vegetación, además, a los factores intrínsecos, tales como el diseño, la planeación y de la operatividad institucional, el financiamiento e incluso, factores como la corrupción y la impunidad; se agregan la dinámica social local, los conflictos entre las instituciones ambientales y la población local por restricciones en el acceso de áreas protegidas y el uso de recursos naturales, la organización social de las comunidades que inciden en el desarrollo de procesos de transformación de los ecosistemas (Figuroa et al., 2011).

Respecto a todo el desarrollo en este estudio, es notable la intervención humana de generar la transformación en la cubierta vegetal pues a pesar de que tipo de vegetación en un determinado lugar se encuentra determinado principalmente por a base edafológica, el relieve y el clima (Quidiello, 2009), estos factores se han mantenido relativamente estables desde el Neolítico. En este sentido, se tendrá que poner mayor atención en las medidas establecidas para impedir la invasión por asentamientos urbanos, como se ha demostrado en la tendencia, el suelo urbano presenta un comportamiento a la alza.



**TABLA 5.1. DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE COBERTURA FORESTAL**

**GANANCIAS**

PROCESO	Ha	Porcentaje
Densificación	12710.61	14.46
Reforestación	2450.85	2.79
Forestación	5058.36	5.75
<b>Subtotal ganancias</b>	<b>20219.81</b>	<b>23.00</b>

**PÉRDIDAS**

PROCESO	Ha	Porcentaje
Degradación	6385.45	7.26
Deforestación	1443.18	1.64
Cambio uso de suelo	3067.66	3.49
<b>Subtotal pérdidas</b>	<b>10896.28</b>	<b>12.39</b>

*Tabla 5.1. Pérdidas y Ganancias de Cobertura Forestal. Elaboración propia, valores obtenidos a partir de los procesos de alteración y recuperación en la región central de Bosque de Agua periodo 1994-2015. (López-García, 2005 y 2006).*

La tabla de comparación de ganancias y pérdidas, nos muestra una descripción detallada que las categorías de bosque tienen cambios netos bajos, pero valores de intercambios altos. Las transiciones sistemáticas entre categorías revelan una dinámica de perturbación-recuperación forestal. A nivel de píxel los modelos de regresión explican que la mayor pérdida ocurre en zonas boscosas más próximas a las zonas agrícolas. Asimismo, las zonas con alta fragilidad ecológica son las que presentan mayor susceptibilidad a ser deforestadas. Para este estudio la deforestación es considerada como la disminución de la cobertura forestal a menos de del 10% (FAO, 1995). En cambio la degradación forestal incluye cambios dentro del bosque que afectan negativamente la estructura y función del bosque (FRA, 2005).

### Cuadro 5.3. CÁLCULO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE COBERTURA FORESTAL

	HECTÁREAS	% PORCENTAJE
<b>PERMANENCIA</b>	56803.60	64.61
<b>GANANCIAS</b>	20219.81	23.00
<b>PÉRDIDAS</b>	10896.28	12.39
<b>CAMBIOS</b>	31116.09	35.39
<b>TOTAL</b>	<b>87919.69</b>	<b>100</b>

*Cuadro 5.3. Cálculo de Pérdidas y Ganancias de Cobertura Forestal.* Cálculo de pérdidas y ganancias de cobertura forestal. Elaboración propia; resultados cuantitativos a partir de la clasificación digital en el periodo 1994-2015. En total se obtuvo mayor el número de ganancias que de pérdidas. Propuesta para fines de esta investigación proyecto PAPIIT IN205215 "Evaluación de los cambios de cobertura forestal en Áreas Naturales Protegidas. (López-García, 2005 y 2006).

En el cuadro 5.3. Indica los cambios en el área de bosque, que describe el proceso de ganancias (expansión del bosque) y pérdidas (deforestación). De cada mapa se analizaron los cambios y las permanencias de manera específica entre las clases de cobertura forestal de 1994 y 2015. El cambio total de bosque proporciona un diagnóstico de cómo se transforma los recursos forestales en conjunto. El cambio en los bosques naturales es una probabilidad, el que se muestra indicador es el más adecuado que describe la dinámica del hábitat natural y de la biodiversidad que permite conocer las transiciones de una clase a otra dentro del BA.

En este contexto, los bosques presentan cambios por causas naturales, pero es aceptable que en la actualidad la mayor parte de su transformación y degradación es causa por actividades antrópicas (Durán-Medina et al. 2007). Es por lo que los diversos usos que los humanos asignan al suelo, así como los cambios que inducen para satisfacer sus necesidades, constituyen un tema de primordial importancia. Particularmente, la pérdida de la superficie y calidad de la cobertura vegetal puede traer como consecuencia el cambio de la composición y densidad de las especies presentes, afectar su estructura y funcionamiento, conllevando efectos negativos sobre los servicios ambientales y sobre la posible aprovechamiento sostenible (Semarnat, 2010).

## CAPÍTULO 6

El desarrollo de este trabajo de los cambios de cobertura forestal subraya la importancia de los bosques que desempeñan un papel fundamental en el desarrollo sostenible (INFyS, 2012). Con ello, la declaratoria de áreas naturales protegidas con limitada actividad humana ha sido una de las estrategias reconocidas para la protección y conservación de los ecosistemas. Sin embargo, la implementación y manejo conlleva grandes retos. La mayor parte de los problemas que afectan las ANPs involucran cambios de uso de suelo derivados de actividades antropogénicas (Du et al., 2015).

Fue posible analizar los cambios en la vegetación del bosque en lo que respecta la cuantificación de superficie, y valoración de la calidad. En cuanto al tipo de vegetación solo se logró distinguir el pastizal, ya que la determinación de la clase arbórea y matorral fue confusa. Se logró el registro dentro de esta investigación para el área de estudio: el XX del área presentó cambios positivos o negativos. Este estudio aporta información relacionada con el estado de conservación de los recursos forestales en el BA, a través del análisis de la variación temporal de la cobertura forestal y uso de suelo.

La zona de estudio se encuentra en medio por zonas urbanas, se infiere a la idea de la presión que se le atribuye el BA por parte de las actividades antrópicas. El análisis cartográfico de procesos de cambio y de las matrices de cambio, se aprecia que el BA de la región centro es un área con clases de uso de suelo bien definidos y en sus tipos de cobertura forestal existen procesos complejos donde el balance se inclina hacia la recuperación y conservación.

De manera general se observa, que en el análisis de cobertura forestal y uso de suelo mediante teledetección permitió determinar la distribución de las coberturas del Bosque de Agua en los últimos 21 años e identificar y caracterizar los cambios de manera integral, estos resultados concuerdan con lo publicado por otros autores, pues señalan el potencial que tiene la teledetección para identificar la existencia de cambios, conocer su magnitud y ubicarlos geográficamente (Mas et al., 2009).

# CAPÍTULO 7

## 7.1. CONCLUSIONES TEÓRICAS

México es un país que cuenta con gran variedad en recursos forestales, y en general las tendencias de cambio en la cobertura de la vegetación se reflejan en una pérdida que se observa en los principales ecosistemas del país. Según la FAO (2016) se considera a México como un país con pocos cambios en la superficie de áreas boscosas y de cultivo, en el periodo de 2000-2010, lo cual con lo registrado en esta investigación para el área de estudio. De acuerdo a lo reportado por Ramírez (20001), Rodríguez y Pereda (2012), Cabello (2016) y Domínguez (2016), el promedio de cambio de la cobertura forestal en bosques templados de diferentes zonas del País, va de 1.6% a 8.56% aproximadamente en el mismo periodo.

Los bosques templados han sido objeto de procesos de transformación con fines agrícolas, energéticos y por asentamientos humanos. La deforestación también se extendió para crear pastizales para el ganado inducido, para abastecer de materiales de construcción y el crecimiento urbano, han sido los factores más importantes en la destrucción de estos bosques y de su biodiversidad (Challenger, 1998).

En este sentido, los bosques son de vital importancia para la recarga de acuíferos, y en términos de disponibilidad de agua, México se encuentra en una situación crítica. Si bien el país realiza esfuerzos para mejorar esta situación, los logros alcanzados siguen siendo deficientes y son frenados por la carencia de las tecnologías, presupuestales y hasta de voluntad política, ya que el tema del tratamiento de aguas residuales no se considera como tema prioritario dentro de las agendas políticas (Semarnat 2006b, 2008). Por otro lado, muchas de las técnicas actuales de producción agropecuaria y forestal están ocasionando procesos de degradación del suelo. Un estudio reciente encontró que 45% del territorio nacional está afectado por algún grado de degradación del suelo, que se manifiesta en distintas variables, incluyendo la reducción de la fertilidad, la salinización y la erosión hídrica y eólica. Si bien la mayor parte de esta superficie padece un grado ligero (23.2%) o moderado (19.7%) de degradación, 1.4% del territorio presenta una degradación del suelo severo y 0.9% tiene una degradación extrema (Semarnat-Colpos 2003).

Las publicaciones revisadas y abordadas con fines para el análisis de este estudio, se mencionan los impactos negativos sobre la biodiversidad, pero al mismo tiempo hay tendencias en el sentido opuesto, hacia la conservación. Dado que en el país estas tendencias son más débiles que las del deterioro, no se analizan en este estudio. Así mismo, es de destacar entre las comunidades rurales de México, cuentan con programas de manejo forestal que pueden contribuir a frenar los impactos antropogénicos negativos. Además, se ha propagado una mejor y mayor tendencia hacia la conciencia pública sobre los temas de la conservación, y en general en relación con los problemas ambientales.

Si bien estas tendencias positivas son alentadoras, este trabajo de investigación hace evidente que el impacto antropogénicos sobre los ecosistemas presentan tendencias a la continuación de impactos sobre el futuro. Este panorama se complica con el cambio climático global, y que es de esperarse que los actuales esfuerzos incipientes que tienden a detener o aminorar las tendencias de cambio, a usar los recursos de manera sustentable y pretenden restaurar la cobertura vegetal aumenten en extensión e intensidad, ante esta problemática es necesario la implementación de la restauración ecológica del país hacia lo más compatible que representan nuestros ecosistemas.

## 7.2. APORTACIONES EMPÍRICAS

La interpretación utilizada mediante la teledetección con el apoyo de imágenes de ortofotos e imágenes SPOT resultó un método confiable para poder realizar el análisis de cobertura forestal en el periodo (1994-2015) del área de estudio Bosque de Agua. De este modo se obtuvo un resultado satisfactorio debido a la metodología empleada por interpretación visual. La resolución espacial fue conveniente para trabajar a una escala de 1: 5,000, así como su área mínima cartografiada de 400 m<sup>2</sup>, lo que permitió que la digitalización en pantalla tuviera un alto grado de precisión manual y visual. Sin embargo, es importante mencionar que hay polígonos que cambiaron a una sola categoría, ya sea que ascendieron o disminuyeron, en la cual este cambio no fue tan drástico o sobresaliente para el cambio de cobertura. En el caso de la categoría *Muy cerrada* (lo cual no garantiza que sea una zona conservada) a *Cerrada*, no necesariamente implica una degradación de la cubierta forestal en esa zona puesto que tienen una densidad forestal de más de 80%, a veces por ciertos factores que influyen en la interpretación visual como la textura, la tonalidad o la sombra de la imagen satelital pueden repercutir en la decisión de bajar o de aumentar a una categoría dichos polígonos. En este sentido, es de importancia realizar el trabajo de campo para verificar y evaluar con mayor veracidad los resultados de dicho análisis interpretado; no se puede tomar solo en cuenta la categoría de densidad de la cobertura forestal como indicador de recuperación, si bien se puede inferir el estado del bosque a través de esta variable, no deja de ser de igual importancia evaluar las especies que lo componen, su estado biológico y la calidad de suelo.

A pesar de no contar con un muestreo de campo, la separación de las densidades de cobertura del bosque fue acertado, ya que la interpretación visual ofrece un índice de confiabilidad mayor al que se obtiene mediante el procesamiento de imágenes de satélite (Mas et al., 2009). Así como la escala utilizada (1:5000) permitió distinguir los criterios de la fotointerpretación para el análisis de las coberturas estudiadas.

Este trabajo de investigación se llevó a cabo a través del análisis de los mapas de procesos de cambio y de las matrices de cambio, y se puede concluir que el Bosque de agua es un área con usos y tipos de suelo bien marcados, donde en la cobertura forestal existen procesos complejos dentro del área. Como se ha observado, los resultados de los procesos forestales se presentan hacia la recuperación del bosque con un mayor porcentaje al proceso de densificación.

Así mismo, se presentan los procesos de cambio de uso de suelo manifestándose mayoritariamente en los límites de la Zona de influencia del área de estudio, debido a la proximidad con las localidades rurales o urbanas de los municipios que comprenden a la Zonas Metropolitanas del Valle de México, observando como el principal cambio es de una cobertura forestal a agrícola. Mientras que en la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) indica que en el país tenemos menos bosque, en esta investigación se comprobó que en esta región ha mejorado la condición de las masas forestales, que se encargan de recargar los acuíferos de los que dependen más de 23 millones de habitantes del Valle de México, Toluca y Cuernavaca.

Por consiguiente, la evaluación de la cobertura forestal es prioritaria para el manejo de los recursos forestales. Tener el conocimiento de los recursos de la distribución y cantidad de bosque de manera precisa, además de saber los cambios presentados localizados, permite identificar zonas de especial atención, como las zonas de recuperación. La importación de la región del Bosque de Agua como la zona de recarga de acuífero, es una de las razones para continuar estudiando y seguir conservando con una adecuada implementación de acciones para el uso razonable y sustentable de los recursos forestales.

### 7.3. FUTURAS INVESTIGACIONES

El creciente empleo de distintos sensores de observación terrestre está originando no sólo una enorme cantidad de información, sino también una nueva forma de estudiar la superficie terrestre. La teledetección permite una rápida y económica, junto con el análisis de interpretación espacial, permite abordar la problemática de interés estudiado. Esta técnica empleada brinda grandes posibilidades para la realización de estudios ambientales, evaluación de recursos, el análisis de impactos naturales o antrópicos, modelos de ordenación territorial, etc. Con el apoyo de estos sistemas informáticos, los estudios del medio natural o social serán de mayor utilidad para ser posible un diseño de alternativas para un proyecto, estimar comportamientos futuros o para simular algún efecto futuro.

A lo anteriormente mencionado, el trabajo de investigación de *los cambios de cobertura forestal* es sólo una muestra de las grandes posibilidades futuras que atribuyen estas tecnologías. Este estudio comentado presentó el resultado de las ganancias y las pérdidas de cobertura forestal dentro el área del Bosque de Agua, que es sólo un ejemplo que brindan estas nuevas tecnologías al estudioso del medio ambiente.

Realizar este tipo análisis espacial ayuda al entendimiento de las condiciones de los bosques, es por ello contar con el apoyo de un plan de manejo para lograr acciones hacia la conservación, y a su vez asegurar la recarga de acuíferos para abastecer a la macro región más poblada del país de la zona metropolitana de la Cuenca del Valle de México. Por tanto, la reconstrucción de antiguos ambientes forestales y de vegetación permite entender tanto los procesos locales como regionales que afectan el cambio ambiental, así como el impacto que tales cambios tienen sobre las poblaciones humanas.

Por último, aunque el presente trabajo define los procesos de cambio de cobertura forestal, resaltó la importancia de continuar con el seguimiento de investigación, ya que no se cuenta con una adecuada definición de un programa para la conservación del Bosque de Agua y poco se tiene conocimiento, aún quedan muchos temas por resolver, ya que es necesario realizar un análisis más detallado para solucionar problemas de deterioro, así como el uso de prácticas mejoradas de manejo forestal pueden ser una opción viable para la actividad forestal en México y de la deforestación de la zona del Bosque de Agua. México es un país que cuenta con una gran variedad de especies de bosques, sumando con especies de plantas, animales, microbios y hongos con un valor incalculable. No obstante, la conservación de esos ecosistemas es difícil, ya que no se ha logrado detener el cambio de uso de suelo, y uno de los problemas más importantes para su preservación es la deforestación y su transformación en terrenos de ganadería, agricultura o urbanización, además de su fragmentación, que ha dejado pequeños remanentes de bosque aislados que pierden su funcionalidad y especies.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- LGDFS (2012), Ley general de desarrollo forestal sustentable, Diario Oficial de la Federación.
- CONAFOR (2010), Prácticas de reforestación, Manual Básico, SEMARNAT, México.
- Chuvieco Emilio (1990), *Fundamentos de teledetección espacial*, Madrid España.  
Disponible en: <http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>.
- FAO (2010), Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010 términos y definiciones, Programa de Evaluación Documento de trabajo 144/S de los Recursos forestales Roma 2010, Italia.
- Barrera Mejía Herman, *Deterioro socioambiental en la Sierra de las Cruces*. Revista Diseño y Sociedad (32): 40., 2012.
- Challenger, A., R. Dirzo et al. 2009. *Factores de cambio y estado de la biodiversidad, en Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 37-73.
- Proulder J., B. Pijanowski B., 2010. Land Use As It Relates To Land Slope. Purdue University.
- *Inventario Nacional Forestal y de Suelos (2015) SEMARNAT.*
- Fernández Núñez, M. y Prados Velasco, M. J. (2010). *Cambios en las coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Guadalfeo (1975-1999)*. GeoFocus. Disponible en: [www.geofocus.org/articulo7\\_2010](http://www.geofocus.org/articulo7_2010).
- García Palomo, Armando; Zamorano, José Juan; López Miguel, Celia; Galván García, Adriana; Carlos Valerio, Víctor; Ortega, Roberto; Macías, José Luis *El arreglo morfoestructural de la Sierra de Las Cruces*, México central Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 25, núm. 1, 2008, pp. 158-178 Universidad Nacional Autónoma de México Querétaro, México. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57225110>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Actualización de la evaluación de los recursos forestales mundiales a 2005. *Programa de evaluación de los recursos forestales*, Roma 2004. Disponible en: <http://www.fao.org/forestry/9690-0d07adfee9364a4127238bf3ffc7d6ab2.pdf>
- Elvira Durán-Medina, Jean-François Mas y Alejandro Velázquez *Los bosques comunitarios de México*, Cap. 10 Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones

con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). Disponible en: <http://www.publicaciones.inecc.gob.mx/libros/532/cap10.pdf>

- Rosete-Vergés, Fernando A., Pérez-Damián, José Luis, Villalobos-Delgado, Mariano, Navarro-Salas, Elda N., Salinas-Chávez, Eduardo, Remond-Noa, Ricardo, *El avance de la deforestación en México 1976-2007*. Madera y Bosques [en línea] 2014, 20 [Fecha de consulta: 7 de noviembre de 2017] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61730576003>> ISSN 1405-0471
- CONAFOR 2015. *Suelos forestales*. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/suelos-forestales/>
- ECOBA, 2012. *Estrategia Regional para la Conservación del Bosque de Agua*. J. Hoth (Editor). Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P., Fundación Biósfera del Anáhuac, A.C. y Pronatura México, A.C. México. Disponible en: <https://www.conservation.org/global/mexico/Documents/2012%20Estrategia%20Bosque%20de%20Agua%20res%20media.pdf>
- Promis Álvaro, 2012. *Medición y estimación del ambiente lumínico en el interior del bosque*. Una revisión. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, México. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v19n1/v19n1a12.pdf>.
- *Guía para la Interpretación de cartografía edafología*, INEGI, 2004. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EDAFI.pdf>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SEDEMA). 2016. *La biodiversidad en la Ciudad de México*. CONABIO/SEDEMA. México.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) 2012. *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009*. Gerencia de Inventario Forestal y Geomática de la Comisión Nacional Forestal. Jalisco, México.
- Corona Romero Nirani (2016), *Modelo espacial y pronóstico de la expansión de la mancha urbana, 1995-2030*. Centro de Investigación en Geografía Geomática Ing. Jorge L. Tamayo, A.C. Disponible en: <https://www.repositorionacionalcti.mx/autor/Nirani+Corona+Romero>.
- Cuevas, M.L., Garrido, A., Pérez, J.L., & González, D.I. (2010). *Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural*. Cotler, H., coord. Las cuencas hidrográficas

de México. Diagnóstico y priorización. Semarnat, INE y Fundación G. Rio Arronte IAP México, DF p. 96-103.

- Figueroa, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P. & Linaje, M. (2011). *Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso de suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente?* Revista mexicana de biodiversidad, 82 (3), 951-963.
- Quidiello, J. 2009. *Atlas de la historia del territorio de Andalucía*. Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio, Instituto de Cartografía de Andalucía.
- Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores. (2005). *Flora fanerogámica del Valle de México*. 2ª edición. Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro (Michoacán).
- Rzedowski, J., 2006. *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- Mas, J.F., Velázquez, A., & Coutunier, S. (2009). *La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana*. Investigación ambiental Ciencia y política pública.
- Mooser, F., Nair, A.E.M., Negendank, J.F.W., 1974, *Paleomagnetic investigations of Tertiary and Quaternary igneous rocks*; VII, A paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico: *Geologische Rundschau*, 63, 451-483 y mapa geológico.
- Maser, O.R., M.J. Ordóñez y R. Dirzo, 1997. *Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios*. *Climate Change* 24: 256-295.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, 2012, con base en: INEGI, Carta de Vegetación Primaria, Escala 1:1 000 000, México, 2001, INEGI.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Inventario Nacional Forestal y de Suelos Informe 2004-2009*. Comisión Nacional Forestal, México, 2012.
- Palacio, J.L., G. Bacco, A. Velázquez, et al. 2000. *La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal nacional 2000*. *Investigaciones Geográficas* 43: 183-203.
- Verhoef, H.A. y H. Olf. 2009. Trophic dynamics of communities, Pp. 25-26. En: *Community Ecology* H.A. Verhoef y P.J. Morin (eds.). *Processes, Models and Applications*. Reino Unido, Oxford University Press.

- Wardle, D.A., Bardgett, J.N., Klironomos, J.N., Setälä, H., van der Putten, W.H., & Wardle, D. (2004). *Ecological linkages between aboveground and belowground biota*. *Science* 304: 1629-1633.