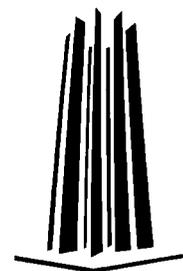




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

“ARAGÓN”

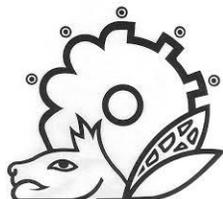
**Análisis del cambio de usos del suelo agrícola y forestal del
Distrito Federal 2005-2013, utilizando SIG y PR**

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN PLANIFICACIÓN PARA EL
DESARROLLO AGROPECUARIO

P R E S E N T A:

EDUARDO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR: LIC. AURELIO AMADO BERNAL CAMPOS



NEZAHUALCOYOTL, EDO. DE MÉX

ABRIL, 2016.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres

*Félix Hernández y Bartolo González
Con admiración y cariño, a ustedes gracias, por haberme
dado el mejor de los bienes, mi carrera universitaria.*

A la memoria de mi padre

Gracias por enseñarme a luchar en la vida, siempre estarás en mi corazón.

A Anita

*Por todo el amor, la fuerza, el apoyo incondicional y
la alegría que me brindas todos los días.*

A toda mi familia

Por todo su cariño y por estar siempre a mi lado

AGRADECIMIENTOS

Al Lic. Amado Bernal Campos

Por el apoyo, amistad y dirección en la realización de este trabajo.

*A mis sinodales Biól. J. Cutberto Garrido, Lic. María Isabel Orozco, Lic. A. Amado Bernal, Lic. Esthela
Huerta, Mtro. R. David Juárez Carrejo*

Quienes desinteresadamente me brindaron sus conocimientos en la revisión y mejora de este documento.

A la profesora Lic. M. Luisa Calzada

Por su incasable apoyo e invaluable amistad.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la formación profesional que recibí en sus aulas.

SINCERAMENTE EDUARDO.

ÍNDICE

	Págs.
1. Resumen	1
2. Introducción	2
3. Antecedentes	3
3.1. Problemática	7
3.2. Justificación	8
3.3. Objetivo general	9
3.3.1. Objetivos específicos	9
4. Materiales y Métodos	10
4.1. Estimación del uso del suelo Agrícola y Forestal 2013	10
4.1.1. Insumos	10
4.1.2. Georreferenciación de imágenes de satélite	11
4.1.3. Clasificación digital de imágenes	12
4.1.4. Interpretación visual	12
4.1.5. Validación de coberturas	14
4.2. Determinación del cambio de uso del suelo agrícola y forestal 2005-2013	15
4.2.1. Homogenización cartográfica y de base de datos	15
4.2.2. Análisis espacial de capas geográficas	17
4.2.3. Estimación de la superficie, dirección y tasa de cambio de uso del suelo	19
5. Marco Teórico	21
5.1. Uso de suelo	21
5.2. Cambio de uso de suelo	23
5.3. Tasa de cambio de uso de suelo	24
5.4. Percepción Remota	25
5.5. Sistemas de Información Geográfica	28
5.6. Análisis espacial	32

6. Diagnóstico	34
6.1. Descripción del área de estudio	34
6.1.1. Localización	34
6.1.2. Fisiografía	34
6.1.3. Hipsometría	35
6.1.4. Geología	38
6.1.5. Edafología	41
6.1.6. Clima	45
6.1.7. Hidrología	48
6.1.8. Vegetación	51
6.1.9. Fauna	57
6.1.10. Panorama General del Sector Rural	58
7. Resultados y Discusión	62
7.1. Estimación del uso del suelo agrícola y forestal 2013	62
7.2. Determinación del cambio de uso del suelo agrícola y forestal 2005-2013	68
7.3. Modelo de dirección de cambio de uso del suelo	71
7.4. Tasa de cambio de uso del suelo	73
8. Propuestas	76
9. Conclusiones	81
10. Referencias bibliográficas	83

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Leyenda de uso del suelo utilizada para el análisis de cambio, clases correspondientes a los planos 2005 (t_1) y 2013 (t_2).	16
Tabla 2. Ejemplo de matriz de transición e identificación de procesos de cambio.	20
Tabla 3. Bandas espectrales y resolución espacial del sensor SPOT 5.	28
Tabla 4. Principales elevaciones de la Ciudad de México 2012.	36
Tabla 5. Estado de conservación de los ecosistemas en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.	53
Tabla 6. Áreas Naturales Protegidas en la Ciudad de México.	55
Tabla 7. Descripción general de las coberturas estimadas para el año 2013.	63
Tabla 8. Superficies de Uso del Suelo Agrícola y Forestal 2013 en el Suelo de Conservación.	66
Tabla 9. Principales clases y direcciones de cambio de uso del suelo detectadas.	72
Tabla 10. Cálculo de la tasa de cambio de uso de suelo.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. Imágenes del satélite Spot 5 (compuesto en falso color RGB 421), utilizadas para la interpretación actual de la vegetación y uso del suelo.	11
Figura 2. Interpretación de imágenes del satélite SPOT5 en color infrarrojo, para la delimitación de la frontera agrícola y forestal.	13
Figura 3. Muestreos de campo realizados en los diferentes usos del suelo.	14
Figura 4. Esquema general de la unión de coberturas en Sistema de Información Geográfica.	17
Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento para la detección de cambios en el uso del suelo.	18
Figura 6. Componentes de un Sistema de Información Geográfica.	32
Figura 7. Gradiente altitudinal de la Ciudad de México.	36
Figura 8. Hipsometría del Suelo de Conservación de la Ciudad de México.	37
Figura 9. Geología del Suelo de Conservación de la Ciudad de México.	40
Figura 10. Edafología del Suelo de Conservación de la Ciudad de México.	44
Figura 11. Distribución del clima en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.	47
Figura 12. Regiones hidrológicas en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.	50
Figura 13. Vegetación y uso del suelo del Suelo de Conservación de la Ciudad de México 2005.	56
Figura 14. Distribución espacial de los principales cultivos en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México 2013.	61
Figura 15. Distribución porcentual de las superficies de uso de suelo estimadas para el año 2013.	62

Figura 16. Mapa de uso agrícola y forestal de la Ciudad de México 2013.	67
Figura 17. Cambio de uso de suelo agrícola y forestal de la Ciudad de México 2005- 2013.	69
Figura 18. Porcentaje de ocupación de los usos del suelo en los años 2005 y 2013.	70
Figura 19. Incrementos y decrementos en las superficies ocupadas por la vegetación y uso de suelo en el periodo 2005- 2013.	71
Figura 20. Modelo de dirección de cambio de uso de suelo agrícola y forestal de la Ciudad de México 2005-2013.	73

SIGLAS

ARCINFO	Software para el desarrollo de tareas dentro de un Sistema de Información Geográfica.
ARGIS	Software para el desarrollo de tareas dentro de un Sistema de Información Geográfica.
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer. Sensor montado sobre la plataforma NOAA.
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal.
DOF	Diario Oficial de la Federación.
ERDAS	Software de teledetección, interpretación y análisis de imágenes de satélite y fotografías.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.
GDF	Gobierno del Distrito Federal.
GPS	Global Position System. Sistema americano de navegación y localización mediante satélites.
GVSIG	Software libre para el desarrollo de tareas dentro de un Sistema de Información Geográfica.
HA	Hectáreas.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
LANDSAT	(LAND=tierra y SAT=satélite) Satélite enviado para el monitoreo de los recursos terrestres.
M.S.N.M	Metros sobre el nivel del mar.
MAPINFO	Software para el desarrollo de tareas dentro de un Sistema de Información Geográfica.
MSS	MultiSpectral Scanner, sensor a bordo de los primeros satélites de la serie Landsat.
NCGIA	National Center for Geographic Information and Analysis
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration.
NOM	Norma Oficial Mexicana.
OEIDRUS	Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable.
PCI GEOMATICS	Software de teledetección, interpretación y análisis de imágenes de satélite y fotografías.
PGDUDF	Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal.
PGOE	Programa General de Ordenamiento Ecológico.
PR	Percepción Remota o Teledetección.
QGIS	Software libre para el desarrollo de tareas dentro de un Sistema de Información Geográfica.
RGB	Imágenes en falso color, o imágenes en Rojo, Verde y Azul.
RMS	Error Medio Cuadrático, se utiliza como un indicador de la precisión del análisis espacial.
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
SARH	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, actualmente SAGARPA.
SCCM	Suelo de Conservación de la Ciudad de México.
SEDEREC	Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades.
SEDUVI	Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda.
SEMARNAP	Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, actualmente SEMARNAT.
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SIG o GIS	Sistema de Información Geográfica, por sus siglas en inglés Geographic Information System.
SMA	Secretaría del Medio Ambiente, actualmente SEDEMA.
SPOT	Système Probatoire d'Observation de la Terre. Satélite francés.
TM	Thematic Mapper. Sensor de alta resolución espectral a bordo del satélite Landsat.
UTM	Universal Transverse Mercator. Sistema de coordenadas basado en proyección cartográfica.
WGS84	World Geodetic System 1984. Sistema de coordenadas geográficas mundial.

1. RESUMEN

Mediante técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota (PR), se logró detectar y cuantificar los cambios ocurridos en el suelo agrícola y forestal del suelo de conservación de la Ciudad de México, para el periodo 2005-2013. Los análisis de cambio de uso del suelo se realizaron mediante el cruce de mapas de vegetación y uso del suelo de las dos fechas (2005-2013), a través de técnicas de análisis espacial, con el objetivo de detectar las áreas con presencia de cambios, persistencias, pérdidas y ganancias en cada uso de suelo. Los resultados indican que más de 1,190 hectáreas (ha.) de bosque fueron deforestadas en el periodo de ocho años de análisis, de igual forma las zonas agrícolas perdieron más de 1,100 ha. y las zonas urbanas registraron un incremento de más de 2,300 ha. en ese mismo periodo.

Palabras clave: *Sistemas de Información Geográfica, Percepción remota, Análisis espacial, inventario agrícola, inventario forestal, cambio de uso del suelo, tasa de cambio de uso de suelo, planificación espacial.*

2. INTRODUCCIÓN

El Distrito Federal, ahora Ciudad de México (DOF del 29 de Enero del 2016) es una de las urbes más pobladas del mundo, llena de actividades culturales, turísticas y comerciales, pero también una ciudad que aún conserva una gran diversidad de flora y fauna nativas, propias de la región central del país.

Las características climáticas, topográficas, edafológicas, geológicas y de vegetación de esta entidad, hacen posible la existencia de importantes ecosistemas, característicos de zonas templadas y el desarrollo de actividades productivas como la agricultura y la ganadería.

La Ciudad de México normativamente se encuentra dividida en Suelo Urbano y Suelo de Conservación, este último ubicado en siete delegaciones política de la zona sur, ocupando cerca del 59% del territorio. De toda su superficie el 60% se cubre de bosques, pastizales y matorrales, en más del 35% se realizan actividades agropecuarias y el 5% tiene uso habitacional, distribuidas en las delegaciones de Milpa Alta, Xochimilco, Tláhuac y Tlalpan principalmente (SMA, 2005).

Las actividades productivas son desarrolladas como una de las principales fuentes de ingreso de las comunidades rurales, por lo que se realizan de manera intensiva. No obstante, la ocupación del territorio por los asentamientos humanos y otras actividades antropogénicas han ocasionado cambios importantes en el uso del suelo agrícola y forestal.

Es por ello, que en el presente estudio se centro en realizar una evaluación del nivel de deterioro que ha sufrido el Suelo de Conservación de la Ciudad de México, mediante la aplicación de tecnologías de información geoespacial, tales como el análisis e interpretación de imágenes de satélite e integración de Sistemas de Información Geográfica, que permitieron cuantificar la superficie actual de los usos del suelo agrícola, forestal, urbano, entre otros, así como la localización y distribución espacial de

los cambios de uso de suelo ocurridos de 2005 al 2013, la dirección de estos cambios y la velocidad en la que están ocurriendo actualmente en la Ciudad de México.

3. ANTECEDENTES

En los últimos siglos el uso del suelo ha cambiado a una velocidad alarmante en todo el mundo y México no es la excepción, pues más de la mitad de su territorio ha sido modificado de manera importante, principalmente para ser utilizado con fines agropecuarios o para establecer asentamientos humanos, siendo los ecosistemas más afectados las selvas y los bosques.

Los estados de Coahuila, Quintana Roo y la Península de Baja California conservan su vegetación natural en mayor medida. No obstante, en los estados de Veracruz, Tabasco, Hidalgo, Estado de México, Tlaxcala, Morelos y Distrito Federal prevalecen las actividades agrícolas y los asentamientos humanos en su territorio. Mientras que, en los estados del norte, así como Chiapas dedica la mayor parte de su superficie a las actividades ganaderas (SEMARNAT, 2003).

El cambio de uso del suelo es una de las principales causas del cambio climático, pues no sólo se pierden las selvas, bosques o matorrales, sino todos los servicios ambientales que prestan. Es por ello que ha sido objeto de estudio en los últimos años, a través de diversas técnicas de análisis espacial y con el uso de diferentes insumos. No obstante, los inventarios de la vegetación y usos del suelo se han venido realizando desde 1961, cuando por primera vez se llevó a cabo un levantamiento de este tipo a nivel nacional, apoyados por la FAO (Food and Agriculture Organization por sus siglas en inglés), dándose por concluido hasta 1985, después de 24 años (CONAFOR, 2012).

Este inventario, orientado hacia las áreas maderables, se basó en análisis de fotografías aéreas (escala 1: 50,000) y un muestreo intensivo de campo, pero sólo para las principales zonas arboladas con valor comercial del país, el resto de la superficie

estudiada se cuantificó mediante imágenes de satélite escala 1: 3,000,000 (CONAFOR, 2012).

A mitad de este periodo, en 1976 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) generó la Serie I de la Cartografía de uso actual del suelo y vegetación, a través del análisis de imágenes de satélites, fotografías aéreas de escalas 1:50,000 a 1:80,000, blanco y negro y sepia.

Años después, en 1991, se llevó a cabo el Inventario Nacional Forestal de Gran Visión, el cual careció de trabajos de campo, no obstante, permitió contar con una nueva apreciación de la magnitud del recurso forestal del país. Su objetivo era hacer una actualización rápida y a bajo costo de la delimitación de los recursos forestales, por lo que se utilizaron métodos indirectos de medición.

Este inventario fue elaborado por la Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre del entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) actualmente Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), con base en la Carta de Uso del Suelo y Vegetación serie I del INEGI y mediante la clasificación digital de imágenes de satélite NOAA AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration), de baja resolución. Como productos se obtuvieron mapas (escala 1:1,000,000) de la vegetación forestal del país, clasificada en diez tipos y siete de vegetación no forestal, en las que se incluían los cuerpos de agua y las zonas urbanas.

En el año 1992, se inició el proyecto denominado “Inventario Nacional Forestal Periódico”, cuyos resultados se dieron a conocer en 1994. Este inventario tuvo como objetivos actualizar y detallar la información sobre los recursos forestales y zonificar los terrenos forestales de acuerdo a sus aptitudes y funciones, sentando las bases para para actualizar la información en forma permanente (SEMARNAT, 2005; CONAFOR, 2012).

Basado en la combinación de los mapas de uso del suelo y vegetación de INEGI serie I, el análisis de imágenes de satélite Landsat TM 5 y muestreos de campo de baja intensidad, este inventario forestal arrojó resultados de localización y extensión de los tipos de uso de suelo y vegetación para tres cuartas partes del país, representadas en mapas escala 1:250,000, dividida en seis categorías principales: bosques, selvas, vegetación de zonas áridas, vegetación hidrófila y halófila, áreas forestales perturbadas y usos no forestales; subdivididas para un total de 40 categorías de vegetación o uso del suelo.

En el año 2000, la Universidad Nacional Autónoma de México realizó el cuarto Inventario Forestal Nacional para la entonces SEMARNAP hoy SEMARNAT, dando como resultado la Carta de Vegetación y de Uso del Suelo del país (escala 1: 250,000). La carta de vegetación se elaboró mediante la interpretación visual de imágenes de satélite Landsat ETM7 adquiridas entre noviembre de 1999 y abril del año 2000, adoptó una clasificación similar a la del INEGI con ocho formaciones de vegetación: bosque templado, bosque tropical, matorrales, pastizales, vegetación hidrófila, otros tipos de vegetación, cultivos y otros tipos de cobertura; subdivididos en 17 tipos, 47 comunidades y 28 subcomunidades, para un total de 75 categorías. No hubo muestreo de campo ni la cartografía fue validada en campo (SEMARNAT, 2002; CONAFOR, 2012).

Con base en estos antecedentes, se puede considerar que a la fecha se han realizado inventarios forestales que no han permitido hacer estudios comparativos entre ellos, en virtud de las características propias de cada trabajo, como son los insumos, técnicas de análisis y escalas de trabajo. Dada la heterogeneidad de los productos obtenidos, los niveles de desagregación de las categorías de mapeo que se definieron, así como las escalas de trabajo resultantes, han hecho que un análisis de cambio de cobertura y uso de suelo sea imposible.

Asimismo, los cambios de metodología que han existido entre inventarios no permite hacer una comparación directa entre sus resultados; por lo que a partir del Inventario

Nacional Forestal 2000 se buscó garantizar esto último, a efecto de poder evaluar de manera consistente la dinámica de los recursos forestales, así como las políticas y acciones que se realizaron concernientes al manejo de los mismos.

Particularmente para la Ciudad de México, se han realizado pocos estudios sobre los cambios de uso del suelo de todo su territorio, los análisis que se habían realizado hasta el momento son en su gran mayoría específicos para ciertas comunidades o microcuencas, utilizando como insumo común la carta de vegetación y uso del suelo Serie I del INEGI, generada desde 1976. Lo que representa un vacío en la información estadística y geográfica de uso de suelo de toda la entidad.

Sin embargo, dada la importancia económica que tiene la Ciudad de México y considerando que es una de las urbes más pobladas del mundo, es indispensable actualizar la información cartográfica de uso de suelo, e innegable un análisis de los cambios ocurridos en estos usos durante los últimos años, a fin de contar con un instrumento que nos brinde la posibilidad de visualizar cómo nos encontramos actualmente, cómo hemos cambiado nuestro hábitat a través del tiempo y el futuro que nos espera de seguir con el mismo ritmo.

Es importante resaltar que más de un cuarto de la población urbana nacional (López y Plata, 2009) habita en la Ciudad de México, lo que representa una enorme presión sobre sus recursos naturales, dando como resultado los cambios en la vegetación y uso del suelo que se analizan en este trabajo.

A pesar de lo evidente que pueda llegar a ser estos cambios en las coberturas forestales y no forestales del Suelo de Conservación, son pocos los estudios publicados sobre este tema. En el año 2009 fue publicado un análisis de los cambios de cobertura de suelo, producto del crecimiento de la mancha urbana de la zona metropolitana de la Ciudad de México entre los años de 1990 y el 2000, con el objetivo de identificar las coberturas sujetas a mayor presión por parte de la ciudad (López y Plata, 2009). Dando como resultado que el crecimiento urbano es el responsable de más del 16% de los

cambios ocurridos durante la década de los noventa, principalmente en las superficies de agricultura de riego, temporal y matorrales.

En el año 2014 se realizaron estudios muy puntuales sobre la detección de cambios en el uso de suelo y la vegetación, en las delegaciones de la Magdalena Contreras y Tlalpan, en la cuenca del río Eslava y la comunidad de San Nicolás Totolapan.

3.1. PROBLEMÁTICA

La Ciudad de México al igual que otras ciudades sufre actualmente de un acelerado proceso de urbanización, a través de asentamientos irregulares, en su mayoría, lo que representa la mayor problemática para el suelo rural. Aunado a esto, existe una escasa capacidad de generación de empleos formales y bien pagados en el sector agropecuario, lo que ha ocasionado la falta de interés por cultivar la tierra, misma que es vendida o heredada para cubrir necesidades de vivienda.

Asimismo, las unidades de producción no cuentan en su mayoría con sistemas de riego, ni utilizan sistemas tecnificados que faciliten su trabajo en todo el proceso productivo, por lo que los terrenos se vuelven poco productivos o bien los productos son de baja calidad, esto a su vez origina bajos precios de los cultivos o productos pecuarios, es así que los productores agropecuarios deciden dedicarse a otra actividad diferente al campo, por lo que sus tierras son abandonadas.

Los recursos naturales también han sufrido las consecuencias del crecimiento de la mancha urbana, los nuevos asentamientos humanos irregulares han provocado entre otras cosas la contaminación de los cuerpos de agua, mismos que han reducido su tamaño. Por otro lado, la vegetación nativa de la zona sur de la Ciudad de México ha disminuido considerablemente, siendo reemplazada por asentamientos humanos y por vegetación indicativa de perturbación. Otros problemas, como la venta ilegal de madera, para abrir zonas de cultivo, sobreexplotación de la tierra, incendios forestales o

fenómenos naturales han propiciado el cambio de la cobertura vegetal de la Ciudad de México.

3.2. JUSTIFICACIÓN

Ante la problemática descrita anteriormente, es necesario contar con información actualizada y confiable que permita conocer el estado actual de los recursos naturales y del territorio en el que se desarrollan las actividades primarias en la Ciudad México.

Por lo que en esta tesis se realizó una estimación del uso del suelo del la zona de conservación de la Ciudad de México en el año 2013, así como un análisis actualizado sobre los cambios ocurridos de 2005 a 2013 que permita diagnosticar su territorio y evidenciar la distribución, magnitud, dirección y velocidad de los cambios ocurridos durante ese periodo de ocho años. De tal forma que este estudio pueda representar una herramienta útil para la toma de decisiones mucho más analizadas y fundamentadas científicamente.

3.3. OBJETIVO GENERAL

Realizar el análisis de los cambios de uso del suelo agrícola y forestal, ocurridos en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México (SCCM), durante un periodo de ocho años (2005 a 2013).

3.3.1. OBJETIVOS PARTICULARES

- Estimar mediante la interpretación y análisis de imágenes de satélite de alta resolución, el uso del suelo agrícola y forestal 2013.
- Definir la ubicación geográfica de las áreas que tuvieron algún cambio en el uso del suelo y cuantificar la superficie ocupada por cada uno de ellos.
- Establecer el modelo de dirección de cambio ocurrido durante el periodo de estudio.
- Estimar la velocidad de ocurrencia de los cambios en el uso de suelo, a través de la tasa de cambio anual.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de los cambios ocurridos en el suelo agrícola y forestal de la Ciudad de México objetivo de esta investigación, partió del cruce de los mapas de vegetación y uso del suelo de los años 2005 (SMA) y 2013.

Por lo que el proyecto fue dividido en dos etapas, la primera de ellas consistió en la estimación de la vegetación y uso actual del suelo 2013, del suelo de conservación de la Ciudad de México, mediante el uso de técnicas de Percepción Remota, análisis espacial y Sistemas de Información Geográfica, cuyo procedimiento se describe más adelante.

La segunda etapa fue integrada por el análisis multitemporal de las coberturas de uso de suelo, a fin de identificar la ocurrencia de cambios en el uso de éste, durante los últimos ocho años. En esta etapa fue utilizada la carta de Vegetación y uso del suelo 2005, generada por el Gobierno de la Ciudad de México a través de la Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de la Secretaria del Medio Ambiente. Este mapa fue agrupado en su leyenda a fin de poder compararlo con el mapa obtenido para el año 2013, proceso que posteriormente se explicará más a detalle.

4.1. ESTIMACIÓN DEL USO DEL SUELO AGRÍCOLA Y FORESTAL 2013

4.1.1. Insumos.

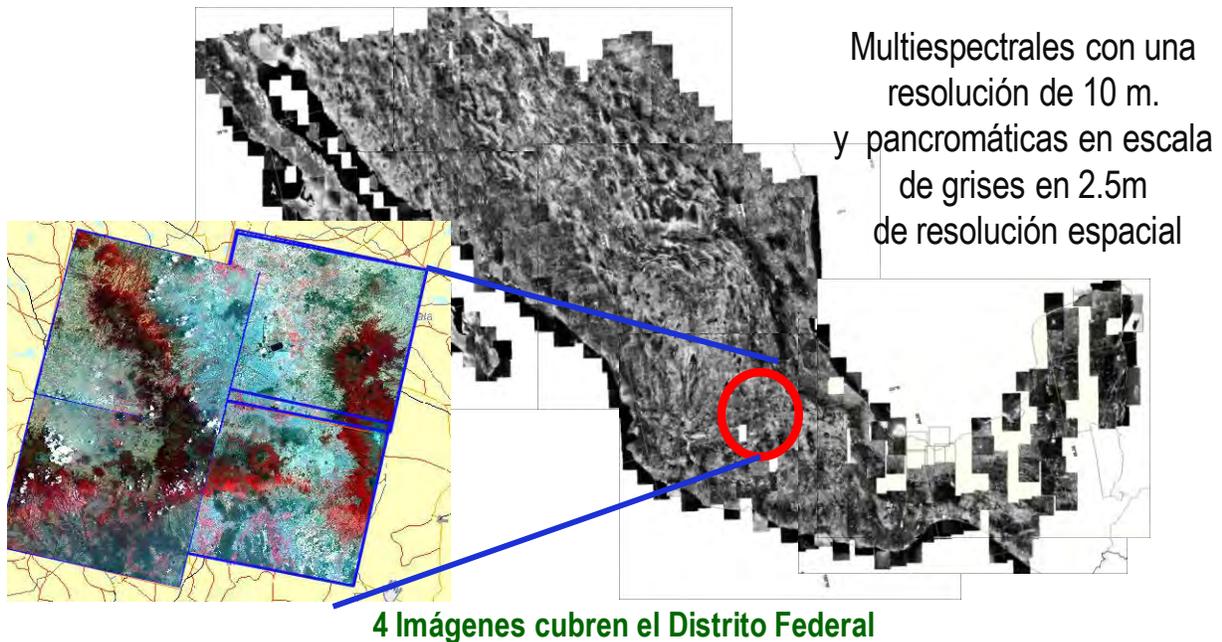
La definición del uso Agrícola y Forestal 2013 se realizó mediante el análisis y procesamiento de 12 imágenes del satélite SPOT 5, cuatro de ellas pancromáticas de 2.5 metros de resolución espacial, cuatro multiespectrales de 10 metros de resolución y cuatro fusiones, de los años 2012 y 2013, que cubren la totalidad de la Ciudad de México (figura 1). Asimismo, se llevó a cabo la interpretación de fotografías aéreas de alta resolución, de la zona chinampera, agrícola y urbana de las delegaciones Tláhuac y

Xochimilco, así como de la zona productora de nopal verdura en la delegación Milpa Alta.

Figura 1. Imágenes del satélite Spot 5 (Compuesto en falso color RGB 421), utilizadas para la

Interpretación actual de la cobertura de los suelos

Imágenes de satélite SPOT 5 utilizadas



Fuente: Elaboración propia con datos de imágenes del satélite Spot 5.

4.1.2. Georreferenciación de imágenes de satélite.

Las imágenes de satélite y fotografías aéreas fueron corregidas geométricamente mediante puntos de control terrestre, georreferenciadas con la mayor precisión posible, mediante GPS (Sistema de Posicionamiento Global) e imágenes de satélite previamente rectificadas.

La rectificación se realizó utilizando polinomios de segundo y tercer grado, en el software PCI Geomatics, cuidando que el Error Medio Cuadrático (RMS) fuera menor a la mitad de un pixel y bajo un método de remuestreo Nearest Neighbor a fin de que los

valores originales de la imagen no fueran alterados, para su posterior clasificación. Se utilizó una proyección Universal Transversal de Mercator y Datum WGS84.

4.1.3. Clasificación digital de imágenes.

En función del conocimiento previo de la zona de interés y de las clases de uso de suelo y vegetación, se llevó a cabo una clasificación supervisada sobre cada una de las imágenes.

Se seleccionaron más de 70 campos de entrenamiento a partir de las firmas espectrales de cada uso de suelo, sobre compuestos en falso color, a los que se les asignó una categoría temática, de acuerdo a los patrones de reconocimiento del terreno. Posteriormente se realizó la clasificación supervisada mediante un algoritmo de máxima probabilidad. Logrando así que cada pixel tuviera un valor de clase asignado.

Una vez obtenida la clasificación se inició con su verificación, a partir de áreas georreferenciadas en campo y su comparación con la cobertura resultante.

Derivado de análisis previos y el conocimiento del territorio, se definieron 21 clases o usos del suelo que constituyen la leyenda de la cartografía final, dividida de la siguiente manera, 9 categorías de uso agrícola, 8 tipos de vegetación y 4 clases de otros usos. El sistema de clasificación de la vegetación se desarrolló a partir de trabajos previos realizados por Faustino Miranda y Efraín Hernández X. (1963) así como Jerzy Rzedowski (1978).

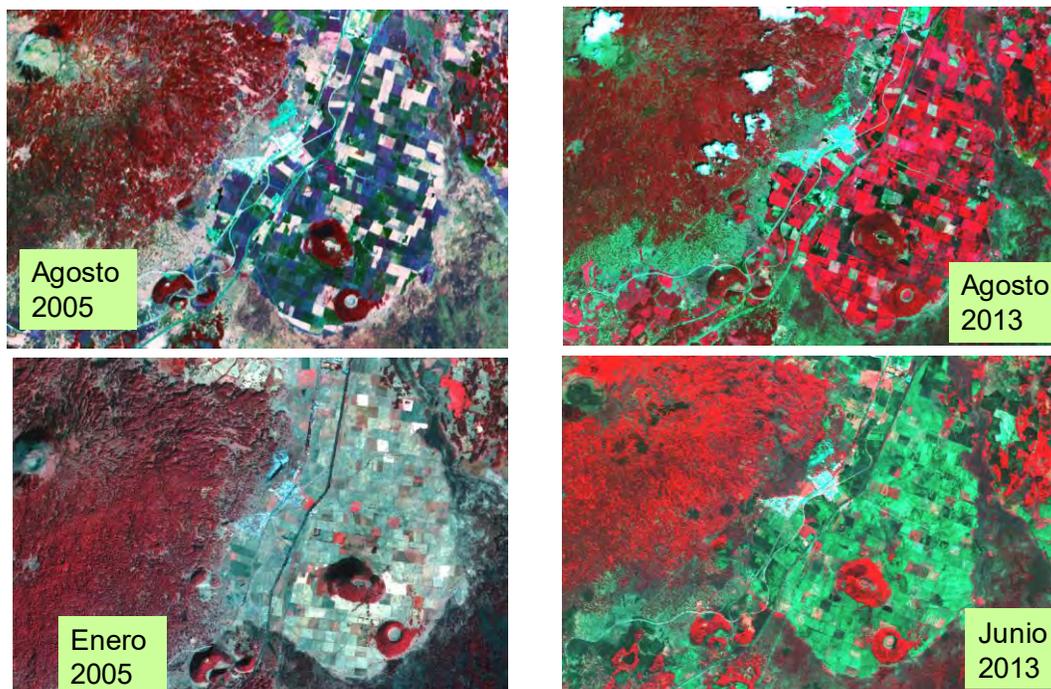
4.1.4. Interpretación visual.

Paralelamente, se realizó la interpretación visual de las fotografías aéreas e imágenes SPOT multiespectrales, en las que se identificaron grandes clases homogéneas, considerando compuestos de falso color, texturas, formas y rasgos (figura 2), dando como resultado la delimitación de la frontera agrícola, forestal, urbana, minas e

invernaderos. Asimismo, se ajustaron aquellas áreas que fueron mal clasificadas digitalmente por el software utilizado (ERDAS 9.1), por lo que posteriormente se les dio un tratamiento manual.

Cabe señalar que las coberturas obtenidas en formato raster, fueron vectorizadas mediante ArcGIS 10.1 y ArcInfo, eliminando el área mínima cartografiable conforme a la escala de trabajo, se disolvieron los límites entre polígonos de igual etiqueta y verificó en todo momento la integridad de la tabla de atributos. Finalmente, la cobertura obtenida se sometió a un proceso de suavizado con el mismo software, se construyó la topología y atributos de cada polígono y se verificó la existencia de etiquetas en todos los casos, así como la limpieza de etiquetas dobles.

Figura 2. Interpretación de imágenes del satélite SPOT5 en color infrarrojo (RGB 421), para la delimitación de la frontera agrícola y forestal.



Fuente: Elaboración propia con datos de imágenes de satélite Spot 5.

4.1.5. Validación de coberturas.

Para la validación de la cobertura, se realizaron muestreos de campo (figura 3), sobre las cubiertas forestales y agrícolas en las que se identificaron y georreferenciaron diferentes tipos de vegetación predominante, así como clases de uso del suelo, considerando todas las categorías que forman parte de la leyenda final. Se obtuvieron puntos de muestreo, cuya información fue capturada en campo, integrada y analizada en gabinete.

Figura 3. Muestreos de campo realizados en los diferentes usos de suelo.



Fuente: Elaboración propia con datos recopilados en campo.

4.2. DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO AGRÍCOLA Y FORESTAL 2005-2013

La superficie agrícola y pecuaria que se localiza en el 33% del Suelo de Conservación, principalmente en las delegaciones de Xochimilco, Tláhuac, Milpa Alta y Tlalpan, sufre a diario modificaciones en su zona limítrofe debido al crecimiento de la mancha urbana y la renta o venta de tierras ejidales y comunales. Aunque este proceso de cambio en el uso del suelo es bien sabido, hasta el momento no se cuenta con información actualizada que dé respuesta a varias interrogantes para conocer a detalle el proceso de cambio de uso del suelo, la primera tiene que ver con dar respuesta a la pregunta, ¿Qué superficie ha cambiado ya sea positiva o negativamente en cada uso de suelo? (cuantificación de superficies), dos ¿En dónde se encuentran esos cambios? (distribución espacial), tres ¿A qué uso de suelo cambio? (Dirección de cambio) y cuatro ¿Con qué velocidad se están generando estos cambios? (tasa anual de cambio de uso del suelo).

Con el fin de dar respuesta a estas interrogantes, se realizó un análisis espacial de tipo multitemporal de la cartografía de uso del suelo de los años 2005 y 2013, con la finalidad de detectar la distribución espacial de los cambios ocurridos, entre las coberturas de uso de suelo y vegetación de ambos años, bajo la metodología que a continuación se explica.

4.2.1. Homogenización cartográfica y de base de datos.

Luego de obtener el mapa de Uso de suelo Agrícola y Forestal 2013 (t_2), como fue descrito en párrafos anteriores y con la finalidad de llevar a cabo su comparación respecto a la carta de Vegetación y Uso del Suelo 2005 (t_1), proveniente del Atlas de Vegetación y Uso del Suelo del suelo de conservación de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México, se realizó en primer lugar un análisis detallado de las leyendas de los dos mapas clasificados durante cada año.

En este sentido y para asegurar la compatibilidad entre cada uno de los mapas, se revisó detalladamente, la escala y método de clasificación de las categorías identificadas en cada uno de los mapas, así mismo se verificó y estandarizó la cobertura geográfica 2005 (t_1) sobre una imagen SPOT5 de ese mismo año, con el fin de identificar posibles errores en cuanto a la delimitación geográfica y etiquetado de cada polígono, mediante el uso del Sistema de Información Geográfica.

Una vez concluida esta actividad, se realizó una agrupación de las clases de vegetación y uso de suelo de ambos mapas 2005 (t_1) y 2013 (t_2), simplificando sus leyendas hasta obtener siete clases que serían utilizadas posteriormente en el análisis, quedando de la siguiente manera: Agricultura, Bosque, Pastizal o Matorral, Vegetación acuática, Urbano, Minas y Cuerpos de agua (tabla 1).

Tabla 1. Leyenda de uso del suelo utilizada para el análisis de cambio, clases correspondientes a los planos 2005 (t_1) y 2013 (t_2).

No. Clases	Agrupación de usos de suelo para el análisis de cambio	Usos del suelo 2005	Usos del suelo 2013
1	Agricultura	Agroforestal	Agroforestal
			Amaranto
		Avena	Avena forrajera
		Hortalizas y flores	Hortalizas y flores
			Maíz
		Nopal verdura	Nopal verdura
		Otros cultivos	Otros cultivos
	Invernaderos	Invernaderos	
		Suelo agrícola no sembrado	
2	Bosque	Bosque de Encino	Bosque de Encino
		Bosque de Oyamel	Bosque de Oyamel
		Bosque de Pino	Bosque de Pino
			Bosque de Pino degradado
		Bosque Mixto	Bosque Mixto
		Otras comunidades vegetales	Otras comunidades vegetales
3	Pastizal o Matorral	Matorral inerme	Matorral inerme
		Pastizal	Pastizal
4	Vegetación acuática	Vegetación acuática	Vegetación acuática
5	Urbano	Área de construcciones	Asentamiento humano
6	Minas	minas	Minas
7	Cuerpos de Agua	Cuerpos de agua	Cuerpos de agua

Fuente: Elaboración propia con información de los mapas de vegetación y uso del suelo 2005 y 2013.

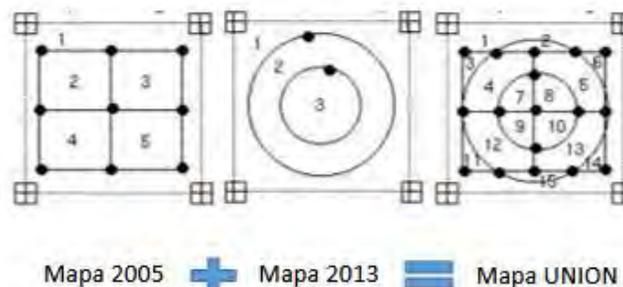
4.2.2. Análisis espacial de capas geográficas.

Estandarizada la leyenda se procedió a la agrupación de polígonos, o unión de los mismos, conforme a las nuevas categorías. Se realizó un análisis espacial utilizando diversas herramientas del módulo de geoprocésamiento que se encuentran disponibles en cualquier software de Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS), este proceso consiste en la sobreposición de las coberturas homogenizadas en su leyenda, en formato digital, las cuales fueron puestas bajo la misma proyección geográfica, utilizando para ello lo siguiente.

El conjunto de herramientas de superposición: las cuales pueden combinar, borrar, modificar o actualizar entidades espaciales, produciendo una nueva capa. Existen varios tipos de operaciones de sobreposición y todas ellas implican la unión de dos capas geográficas en un conjunto único que permitirá identificar las relaciones espaciales entre los elementos, para este estudio fue utilizado en el proceso de cambio de uso de suelo la herramienta UNION, tal como se describe.

Unión: En este proceso se realizó una sobreposición geométrica entre el mapa t1 y t2, con el fin de que todas las áreas de las dos fechas se preservaran en el mapa de salida, teniendo como resultado un nuevo mapa con la unión de las áreas de las dos fechas, en donde cada uno de los polígonos conservo su base de datos del tipo de uso de suelo correspondiente para cada año (figura 4).

Figura 4. Esquema general de la unión de coberturas en Sistema de Información Geográfica.



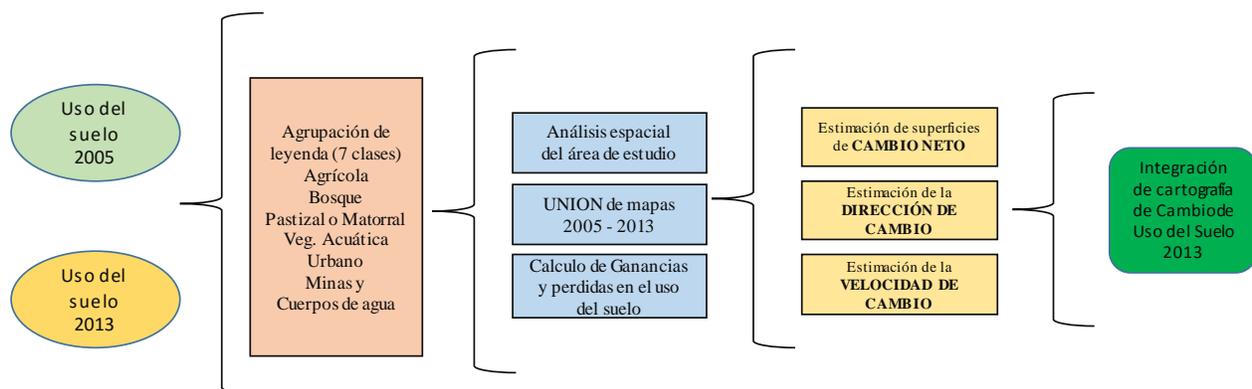
Fuente: Elaboración propia con información del comando unión en el SIG.

El análisis cartográfico aplicado a las bases de datos geográficas se realizó con énfasis en el uso de suelo agrícola, con el fin de detectar la superficie agrícola que sufrió algún tipo de cambio durante el periodo de análisis, su ubicación geográfica, la dirección que siguió cada uno de estos cambios, es decir los nuevos usos del suelo que sustituyeron a la agricultura y, finalmente la velocidad con la que estos cambios ocurrieron (tasa de cambio).

A fin de que la información generada del análisis de sobreposición de capas tuviera un mayor grado de exactitud, se realizaron revisiones exhaustivas de las coberturas resultantes de la unión de capas, a fin de encontrar cambios improbables, como por ejemplo cambio de uso urbano a agrícola, resultado de algún área mal etiquetada, la cual se corregía, para posteriormente correr de nuevo el proceso de sobreposición, y llevar a cabo el mismo procedimiento de ser necesario.

El geoprocésamiento de los mapas t_1 y t_2 descrito anteriormente, hace posible la aplicación de un modelo de procesos de cambio, por medio del cual se obtuvo la cartografía e información estadística que permitieron hacer un diagnóstico de la dinámica del cambio de uso del suelo de la zona de estudio (figura 5).

Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento para la detección de cambios en el uso del suelo.



Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología utilizada en este estudio.

4.2.3 Estimación de la superficie, dirección y tasa de cambio de uso del suelo.

La sobreposición de coberturas de las diferentes fechas ($t_1=2005$ y $t_2=2013$) generó combinaciones que fueron analizadas a través de una matriz de transición o matriz de cambios (tabla 2). Con la cual se pudo visualizar la siguiente información:

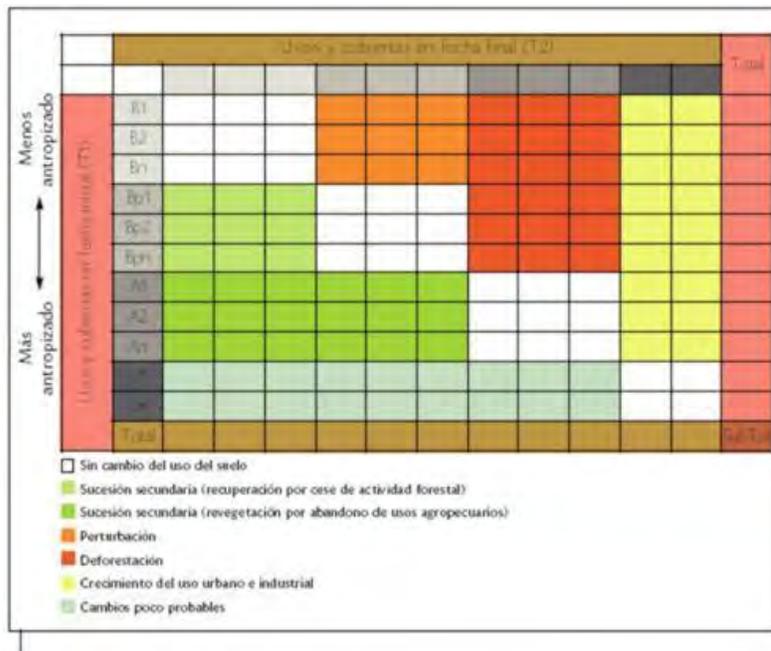
- i. La **superficie ocupada** de cada clase en las fechas de interés, que para el t_1 es la suma de las celdas de cada fila y para el t_2 la suma de las celdas de cada columna.
- ii. **Persistencia** de cada clase, representada por la diagonal principal de la tabla, es decir, corresponde a la superficie de cada clase que no presentó cambios.
- iii. **Ganancias (G)**, que es la diferencia de la superficie total del t_2 de la clase de interés menos su persistencia;
- iv. **Pérdidas (P)**, que corresponden a la diferencia de la superficie total del t_1 de la clase de interés menos su persistencia.
- v. **Cambio neto (CN)**, representado por la diferencia de superficies entre el total del t_2 y el total del t_1 , dado en valores absolutos para la clase de interés ($CN = |t_1 - t_2|$).
- vi. **Cambio total (CT)**, que es la suma de las ganancias y pérdidas de la clase en cuestión (López y Plata 2009; Eastman 2012).

Por otro lado, el cálculo del cambio de uso del suelo, desde el punto de vista temporal, se calcula mediante la diferencia de las áreas entre el tiempo inicial y el tiempo final (t_1 y t_2 , respectivamente) en tasas o índices, que significan incrementos o decrementos en dicho intervalo de tiempo. Para estos fines, la FAO emitió en 1996 la

Tasa anual de cambio (q) que calcula el cambio de área de una cubierta forestal o vegetación natural por año:

$$q = [(área \text{ en } t_2 - área \text{ en } t_1) / (t_1 - t_2)] - 1$$

Tabla 2. Ejemplo de matriz de transición e identificación de procesos de cambio.



Fuente: Tomado de Galicia et. al., 2015.

5. MARCO TEÓRICO

El crecimiento de la Ciudad de México, al igual que el de otras ciudades en el mundo, no se ha dado de manera planificada, ha sido resultado de la unión de poblaciones más pequeñas de los alrededores, formando una zona metropolitana compuesta por centros de población de diferente tamaño e interdependientes. Ello ha generado una serie de problemas y conflictos ambientales.

Las principales amenazas a la calidad ambiental del suelo de conservación están asociadas al cambio de la cobertura del suelo (por ejemplo, de uso agrícola a urbano) y la transformación de la vegetación natural, la degradación de los bosques y la destrucción de los hábitats naturales.

El cambio de la cobertura del suelo se debe, en parte, a las transformaciones de la dinámica socioeconómica del suelo de conservación. El sector primario ha ido paulatinamente disminuyendo en la región, debido a que una proporción cada vez mayor de habitantes se prefieren dedicarse a actividades propias del sector terciario. Esto ha resultado en el abandono de terrenos agrícolas, lo que ha facilitado su invasión y fraccionamiento para desarrollos urbanos (GDF, 2000).

En este contexto, es necesario, aclarar algunos términos y conceptos que han sido utilizados a lo largo de esta tesis.

5.1. USO DEL SUELO

En la literatura relacionada al tema es frecuente encontrar los términos "cubierta", "cobertura" y "uso del suelo" como sinónimos; por tal motivo, se considera importante y oportuno hacer una breve revisión de su significado y su aplicación.

Cubierta del suelo (en inglés, land cover): es el material o elemento que cubre el suelo, y se refiere a la naturaleza o forma física de la superficie del terreno que puede ser identificada visualmente en campo, o a través de medios de Percepción Remota.

Cobertura (en inglés, coverage): se utiliza especialmente en relación con la vegetación, y se define como el porcentaje del área que cubre en la superficie del suelo la proyección de un tipo de vegetación particular, es decir, la densidad de la cubierta.

Uso del suelo (en inglés, land use): expresa el aprovechamiento o los fines económicos que se les da a las diversas cubiertas (Galicia L. *et. al.*, 2015).

El territorio nacional no se explota con la misma intensidad ni con los mismos propósitos en toda su superficie. Algunas porciones son modificadas profundamente al ser utilizadas con fines agropecuarios o como asentamientos humanos; otras han permanecido relativamente inalteradas por las actividades humanas. Las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conocen como usos del suelo.

En los sitios menos modificados, el uso del suelo está determinado precisamente por la vegetación natural del mismo: bosques, selvas y matorrales, que constituyen la categoría «primaria». En las regiones donde una porción de la comunidad biológica ha sido explotada parcialmente o bien se está recuperando después de su remoción, la vegetación es calificada como «perturbada» o «secundaria» respectivamente. Mientras que se conoce como «cobertura antrópica» a aquellos lugares donde la vegetación ya es totalmente diferente de la original al ser modificada por el hombre; dentro de esta categoría se incluyen diferentes tipos de cubierta: agrícola, ganadera o urbana (SEMARNAT, 2003).

Por otro lado, el INEGI, en su carta de uso del suelo y vegetación define el uso del suelo como la distribución de la vegetación natural e inducida, la localización de las áreas dedicadas a la actividad ganadera, representan los diferentes tipos de vegetación

y las áreas de uso agrícola, pecuario y forestal. Incluye información puntual sobre especies botánicas representativas de la cubierta vegetal.

Dicha información es útil para conocer el estado actual en que se encuentran los diferentes tipos vegetación y proporciona información básica para la enseñanza e investigación sobre los recursos naturales y las actividades antrópicas (INEGI, 2015).

5.2. CAMBIO DE USO DEL SUELO

Este concepto se puede entender como la modificación de la configuración del paisaje natural y la alteración del funcionamiento de sus ecosistemas (DeFries *et al.*, 2004). La tendencia es el reemplazo de paisajes naturales por tierras agrícolas y zonas urbanas, lo cual repercute negativamente en la diversidad, coherencia, identidad y en los servicios ambientales que los sistemas naturales ofrecen (Antrop, 2005).

Por otro lado, para el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Evaluación de Impacto Ambiental en su artículo 3° fracción primera, lo define como la modificación de la vocación natural o predominante de los terrenos, llevada a cabo por el hombre a través de la remoción total o parcial de la vegetación.

La Norma Oficial Mexicana NOM-022-SEMARNAT-2003, dice que el cambio de uso de suelo en terrenos forestales es la remoción total o parcial de la vegetación en los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales.

El cambio de uso del suelo en terreno forestal también lo define la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, en artículo 7 fracción V. que a la letra lo define como: "La remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos no forestales para destinarlos a actividades no forestales" (Barrientos R.M. 2015).

En este sentido podemos decir que el cambio de uso del suelo es causado por la modificación de la vocación natural de los terrenos, para ser utilizado con fines de expansión agrícola, extracción forestal, expansión de la infraestructura, aumento de la densidad de población y por ende crecimiento urbano, sin dejar de lado los cambios de uso de suelo generados por fenómenos naturales, como los incendios forestales.

5.3. TASA DE CAMBIO DE USO DEL SUELO.

La tasa de cambio se define como la diferencia de las áreas entre el tiempo inicial y el tiempo final del análisis (t_1 y t_2 , respectivamente), en la que la representación porcentual de la superficie total que cada uso de suelo incrementa o disminuye en un intervalo de tiempo.

En este sentido, la FAO (1996) para realizar este cálculo definió la fórmula de la tasa anual de transformación, en donde los resultados positivos significan ganancias y los negativos pérdidas.

$$TC = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{(1/n)} - 1 \right] \times 100$$

Dónde:

TC = tasa de cambio (para expresar en %, multiplicada por 100)

S1 = superficie en la fecha 1, al inicio del periodo

S2 = superficie en la fecha 2, al final del periodo

n = es el número de años entre las dos fechas

5.4. PERCEPCIÓN REMOTA.

Cuando en 1968 se planteó por primera vez la aplicación de la Percepción Remota, la nueva técnica despertó grandes expectativas. Se definió como la disciplina que permite obtener información de los objetos a distancia. "Percepción Remota es la adquisición de información sobre un objeto sin tener contacto físico con él", define el Manual of Remote Sensing. Se denomina también a esta técnica "Teledetección" o "Sensores Remotos" y agrupa todos los métodos de estudio y técnicas que emplean información captada a distancia, principalmente mediante instrumentos montados en aviones y satélites o en la actualidad en vehículos no tripulados llamados Drones (Díez, 1993).

De igual forma, otros autores definen a la Percepción Remota (Remote Sensing) o Teledetección como la ciencia y arte de obtener información de un objeto, analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto, principalmente mediante instrumentos montados en aviones y satélites.

La Percepción Remota es una herramienta indispensable y de gran ayuda en los estudios de medición, cuantificación y análisis del territorio y en particular en el análisis del cambio del uso del suelo, por lo que desde el punto de vista de la planificación del desarrollo agropecuario es básico su conocimiento y manejo, pues facilita de manera amplia la generación de información útil para la toma de decisiones del territorio, en beneficio de la sociedad y en particular del sector agropecuario.

Los satélites de observación de última generación cuentan con sensores muy sofisticados que generan imágenes de satélite de muy alta resolución espacial para la detección de la vegetación, con lo que es posible, la diferenciación y cuantificación más exacta de los diversos usos del suelo, así como la identificación de procesos de cambio que se generan a escala local o nacional.

Bajo este contexto, el presente estudio utilizó imágenes del satélite francés llamado SPOT 5 (Sistema Probatorio de Observación de la Tierra o Satélite Para la Observación de la Tierra), multiespectrales y pancromáticas de 10 y 2.5 metros de resolución espacial respectivamente, de los años 2005, 2011 y 2012. Asimismo, se procesaron e interpretaron fotografías aéreas del año 2013, de 60cm de resolución espacial, de la zona chinampera, agrícola y urbana de las delegaciones Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta.

Imagen de satélite.

Con el fin de describir una poco más esta herramienta y sin tratar de generar un manual de Percepción Remota, se describen de manera general algunos términos que fueron utilizados en la metodología. Una imagen satelital o imagen de satélite es la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen la información reflejada por la superficie de la Tierra y luego es enviada de regreso a ésta y procesada convenientemente, con el fin de generar valiosa información sobre las características de las zonas de interés (Butler *et. al.* 1990).

En este sentido, las imágenes de satélite, como se describe en la literatura, cuentan con cuatro tipos de resoluciones (resolución espacial, espectral, temporal y radiométrica), a continuación, una breve descripción de cada una de ellas.

Resolución espacial: Este concepto designa al objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen. Está determinada por el tamaño del píxel, medido en metros sobre el terreno, esto depende de la altura del sensor con respecto a la Tierra, el ángulo de visión, la velocidad de escaneado y las características ópticas del sensor (Vivancos *et. al.*, 2015).

Por ejemplo, el sensor SPOT -5 (imágenes usadas en este estudio), tiene una resolución de 10x10m (tabla 3), mientras que en los satélites meteorológicos como NOAA, el píxel representa un tamaño de 500 a 1,100m de lado.

Resolución espectral: Consiste en el número de canales espectrales (y su ancho de banda) que es capaz de captar un sensor. Por ejemplo, SPOT5 tiene una resolución espectral de 4 bandas, Landsat de 7. Los nuevos sensores, llamados también espectrómetros o hiperespectrales llegan a tener hasta 256 canales con un ancho de banda muy estrecho (unos pocos nanómetros) para poder separar de forma precisa distintos objetos por su comportamiento espectral (Vivancos *et. al.*, 2015).

Resolución radiométrica: Se la llama a veces también resolución dinámica, y se refiere a la cantidad de niveles de gris en que se divide la radiación recibida para ser almacenada y procesada posteriormente. Esto depende del conversor analógico digital usado (Vivancos *et. al.*, 2015).

Así por ejemplo Landsat MSS tiene una resolución espectral de 26= 64 niveles de gris en el canal 6, y Landsat MSS en las bandas 4 a 7 de 27= 128 niveles de gris, mientras que en Landsat TM es de 28 = 256. Esto significa que tenemos una mejor resolución dinámica en el TM y podemos distinguir mejor las pequeñas diferencias de radiación electromagnética.

Resolución temporal: Es la frecuencia de paso del satélite por un mismo punto de la superficie terrestre. Es decir, cada cuanto tiempo pasa el satélite por la misma zona de la Tierra. Este tipo de resolución depende básicamente de las características de la órbita del satélite (Vivancos *et. al.*, 2015).

El ciclo de repetición de los satélites Landsat-1 al Landsat -3 era de 17 días. A partir del Landsat 4 en 1984 el ciclo de repetición se redujo a 15 días. Mientras que el satélite SPOT permite un ciclo de repetición de entre 3 y 26 días.

Tabla 3. Bandas espectrales y resolución espacial del sensor SPOT 5.

Sensor	Resolución espectral en 4 bandas	Tamaño de píxeles	Bandas espectrales
SPOT 5	Panchromático	2,5 m o 5 m	0.48 - 0.71 μm
	B1 verde	10 m	0.50 - 0.59 μm
	B2 rojo	10 m	0.61 - 0.68 μm
	B3 infrarrojo cercano	10 m	0.78 - 0.89 μm
	B4 infrarrojo medio (MIR)	20 m	1.58 - 1.75 μm

Fuente: www.spotimage.com

5.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Un Sistema de Información Geográfica, SIG o GIS, por sus siglas en inglés (Geographic Information System) ha tomado actualmente gran relevancia en las investigaciones del territorio y en la vida diaria, en la literatura se puede encontrar gran variedad de conceptos, de los cuales podemos mencionar algunos.

Una definición bastante aceptada, es la redactada por la National Centre of Geographic Information and Analysis (NCGIA,1990), quien dice que un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

Por otro lado, Aronoff (1989), lo define como cualquier tipo de procedimiento manual o automático (por computadora) usado para almacenar y manipular geográficamente datos referenciados. Consta de 4 pasos esenciales: (1) ingreso de los datos, (2) manejo de los datos, (3) manipulación y análisis y (4) salida de los datos.

Los SIG, son herramientas que permiten el procesamiento de datos espaciales, generalmente información tomada explícitamente para la toma de decisiones, en alguna porción de la tierra. (DeMers, 2000).

De igual forma, un SIG se define como un sistema de herramientas, programas, datos, gente, organizaciones y arreglos institucionales para coleccionar, almacenar, analizar y diseminar información acerca de las áreas de la Tierra (Dueker and Kjerne, 1989).

Los SIG integran en un mismo concepto datos, equipo de cómputo, programas, intereses diversos (científicos, de gestión y comerciales), disciplinas diversas (matemáticas, ingeniería, cartografía, geografía, economía, geología, biología, informática, etc.), personal (ingenieros, geógrafos, programadores, administradores, etc.) y modelos (espaciales, físicos, económicos, etc.) que permitan realizar análisis de los diversos fenómenos que ocurren en el espacio geográfico. Esta tecnología se construye en esencia sobre un modelo del espacio geográfico que se materializa en un agregado de unidades de información lógico-formales que pueden almacenarse y tratarse en una computadora. La interpretación de la información utilizada en un proyecto de SIG es compleja, implica solidez sobre los conceptos teóricos introducidos al sistema (Correa, 2015).

Finalmente podríamos resumir que un SIG, es la unión de diversos elementos del área de la informática, conocimientos de diversas disciplinas y ciencias y personal altamente capacitado en la representación geográfica del territorio, con el fin de generar un modelo virtual y digital de cualquier fenómeno que se presenta en un territorio ya sea a nivel local o global, el cual, principalmente, será representado de manera geográfica y contará con una base de datos llamada atributos, que ayudará a realizar el análisis espacial de cada fenómeno, en particular para este estudio el análisis del cambio del uso del suelo en el territorio agrícola y forestal de la Ciudad de México.

Componentes de un Sistema de Información Geográfico.

Los componentes de un sistema de información geográfica son cinco, los cuales cumplen con ciertas funciones, de tal manera que exista una interacción entre ellos (figura 6). A continuación, se describen cada uno de los componentes:

Hardware

Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático, está conformado por: a) los equipos de cómputo donde se desarrollan las distintas tareas de administración y operación del sistema; b) los servidores donde se almacenan los datos y se ejecutan ciertos procesos; c) los periféricos de entrada tales como scanner, teclados, mouse, dispositivos de lectura de archivos, etc.; d) los periféricos de salida como los monitores, impresoras, plotters, etc.; e) todos los componentes de la red informática (Baeza, 2015).

Este elemento es indispensable para efectuar el procesamiento de la información geográfica mediante operaciones y algoritmos que permitan la entrada, procesamiento y salida de la información en diversos medios y formas de presentación.

Software

Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas, proporciona las funciones y herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica para lo cual se necesitan de elementos como:

- Herramientas y funciones para la entrada y manipulación de los datos geográficos
- Sistema de administración de la base de datos
- Herramientas y funciones para la consulta y visualización de los objetos geográficos

- Interfaz gráfica de usuario que facilite el acceso a las herramientas y funciones de modelado espacial.

Actualmente existe una gran variedad de Software SIG, tanto como software comercial (ArcGIS, MapInfo, Global Mapper) como software libre (gvSIG, QGIS).

Datos

Este componente permite generar productos de información. Una vez definido el objeto del estudio, se deben identificar las propiedades que lo forman y sus atributos, los elementos descriptivos y su geometría como elemento espacial (líneas, puntos y polígonos). Los datos quedan almacenados dentro de una base de datos, la cual queda conformada por elementos gráficos que definen la geometría de los objetos geográficos y sus atributos que son las características de dichos elementos. La base de datos se visualiza como capas o coberturas de datos con distintas temáticas y temporalidad del territorio bajo análisis.

Capital humano

Este es el componente e insumo principal y se refiere a todas aquellas personas que se encargan de administrar, desarrollar y manejar el sistema de un proyecto geoespacial. Entre las personas que se involucran se encuentran los técnicos analistas, desarrolladores, administradores, programadores y los mismos usuarios de los productos a generar. Es importante señalar que el capital humano que manejará los distintos componentes antes descritos (software, hardware, datos, métodos y procesos) se requiere que cuenten con un perfil adecuado. Lo que permitirá alcanzar las metas y resultados del proyecto (Baeza, 2015).

Métodos y procesos

Definen las tareas que realizará el sistema utilizando los datos y recursos tecnológicos, que están relacionadas con el diseño, creación y funcionamiento de los SIG, por lo que se requiere de un cuerpo metodológico específico. Los procesos tienen la finalidad implementar aplicaciones que sustenten la toma de decisiones tales como la forma de introducir la información en formato digital, forma de almacenamiento, así como las formas de la salida de la información, por lo que es muy importante definir los metadatos, el diccionario de datos, diagramas de flujo, entre otros.

Cabe mencionar que otro elemento importante actualmente, se puede considerar al internet que ha cobrado una importancia muy grande para el intercambio, publicación y consulta de los resultados de un estudio aplicando SIG (Correa, 2015).

Figura 6. Componentes de un Sistema de Información Geográfica.



Fuente: Tomado de Correa, 2015.

5.6. ANÁLISIS ESPACIAL

Los SIG han demostrado ser una herramienta útil, que facilitan el manejo de la información de entrada y salida, permiten la visualización cartográfica de los resultados, pueden combinar información y facilitar el desarrollo de modelos de análisis espacial.

Las técnicas matemáticas, estadísticas, probabilísticas, lógicas, cartográficas y gráficas, que se emplean para solucionar un problema que requiere del análisis de información geográfica se conocen en conjunto como Análisis Espacial (Pumain, 2004).

Estas técnicas son relativamente independientes de las herramientas tecnológicas empleadas para el manejo de la información geográfica, tales como los SIG, la PR, los sistemas de manejo de bases de datos y los sistemas de posicionamiento global por satélite (GPS). El objetivo del análisis espacial es proporcionar conocimiento sobre las partes de un problema para luego integrar una solución al mismo.

De igual manera, es "el estudio de la disposición de puntos, líneas, polígonos y píxeles sobre un mapa". Mientras que muchos investigadores simplemente aplican técnicas derivadas del modelo general lineal a los ejemplos geográficos, otros han señalado que el análisis de datos espaciales plantea problemas estadísticos particulares, que precisan el desarrollo de procedimientos específicamente diseñados para contrarrestarlos (Haining, 2003).

6. DIAGNÓSTICO

6.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

6.1.1. Localización.

La Ciudad de México tiene una extensión territorial de 1,495 Km², por lo que es la entidad más pequeña del país, actualmente es considerada como la segunda urbe más poblada del mundo y la segunda a nivel nacional, después del Estado de México.

Con fines administrativos, el Distrito Federal fue dividido normativamente en dos partes, el suelo urbano y el suelo de conservación. El primero, bajo la jurisdicción de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI) y enmarcado legalmente por el Programa General de Desarrollo Urbano (PGDUDF, 2002). El segundo, a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente (SMA) y legislado por el Programa General de Ordenamiento Ecológico (GDF, 2000).

El Suelo de Conservación es integrado por nueve delegaciones: Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco.

El Distrito Federa se localiza al norte 19° 36', al sur 19° 03' latitud norte; al este 98° 57' longitud oeste y al oeste 99° 22' de longitud oeste; colinda al norte, este y oeste con el Estado de México y al sur con el Estado de Morelos; las alturas sobre el nivel del mar van desde los 2,234 m en la Cuenca de Xochimilco, hasta los 3,950 m en la cima del Ajusco.

6.1.2. Fisiografía.

La superficie de la Ciudad de México, forma parte de la provincia: Eje Neovolcánico transmexicano. El relieve lo definen principalmente una sierra y un valle, la primera se localiza al oeste, extendiéndose del noroeste al sureste y la conforman rocas de origen ígneo extrusivo o volcánico (se forman cuando el magma o roca derretida sale de las

profundidades hacia la superficie de la Tierra) producto de la formación de volcanes como: Tláloc, Cuautzin, Pelado, Teuhtli, Chichinautzin y el de mayor altitud cerro la Cruz de Márquez o Ajusco con 3 930 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.).

En el centro-oeste, se encuentra un lomerío que separa al valle que se extiende desde el centro hasta el este, en este punto se localiza la altura mínima con 2 300 metros.

La planicie del valle es interrumpida por el cerro de Chapultepec, cerro de la Estrella, volcán Guadalupe y cerro del Chiquihuite. En las cercanías de la localidad San Andrés Mixquic, hay un lomerío que se extiende de noroeste a sureste.

Además, el suelo de conservación se asienta en parte de la planicie aluvial que dejaron los antiguos lagos de Texcoco, México, Chalco y Xochimilco en el interior de la Cuenca del Valle de México (INEGI, 2012; INEGI, 2014).

6.1.3. Hipsometría.

Casi la mitad del área de estudio (48%) se ubica por arriba de los 3,000 m.s.n.m. (tabla,4). El suelo de conservación tiene una altitud promedio de 2,882 m.s.n.m., entre la cota máxima de 3,930 y mínima de 2,171 m.s.n.m. (figura 7). Tanto las Sierras de Las Cruces, Ajusco y Chichinautzin superan los 2,750 m.s.n.m. (figura 8), mientras que las de Santa Catarina y Guadalupe están por debajo de dicha elevación (PGOE, 2010).

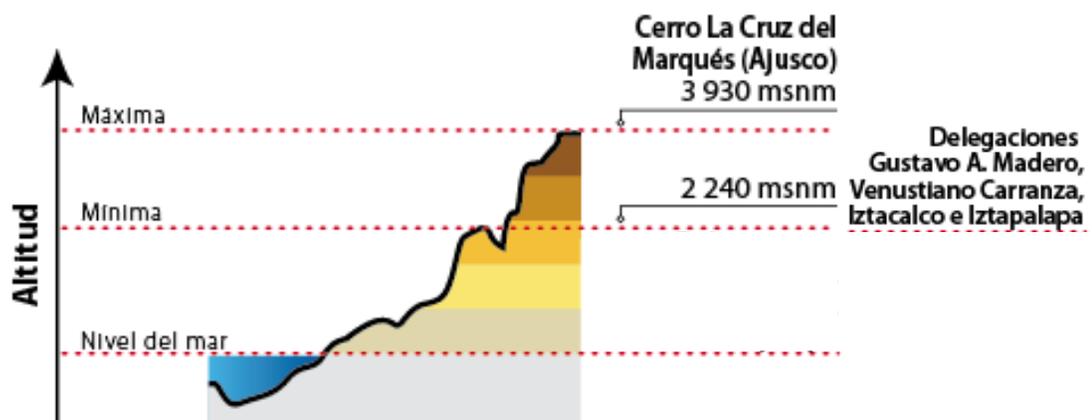
Sus principales elevaciones son:

Tabla 4. Principales elevaciones de la Ciudad de México.

Nombre	Altitud (msnm)
Cerro la Cruz del Marqués (Ajusco)	3 930
Volcán Tláloc	3 690
Cerro Pelado	3 620
Cerro El Charco	3 530
Volcán Cuautzin	3 510
Volcán Chichinautzin	3 490
Volcán Guadalupe (El Borrego)	2 820
Cerro del Chiquihuite	2 730
Volcán Teuhtli	2 710
Cerro de la Estrella	2 450
Cerro de Chapultepec	2 280

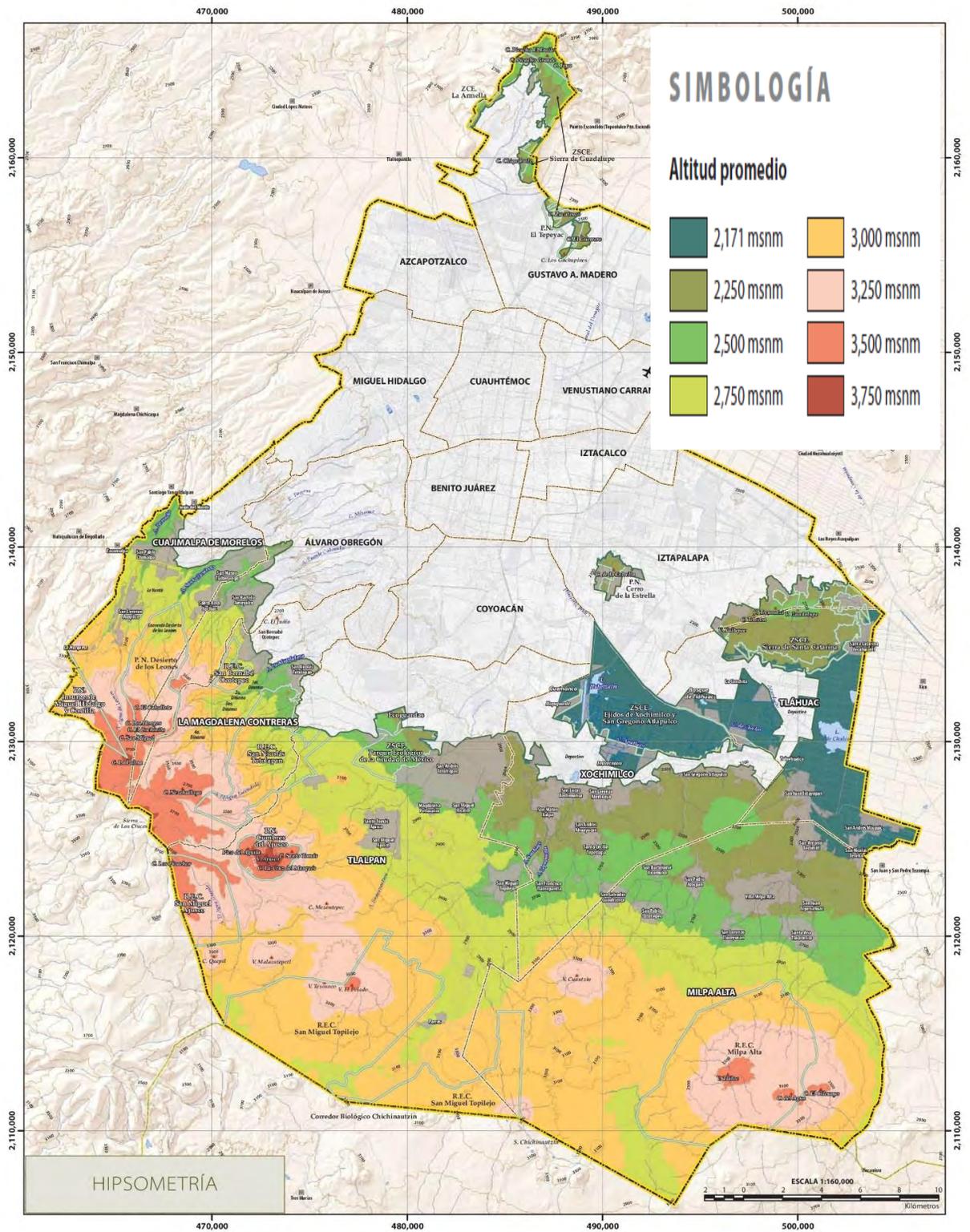
Fuente: Elaboración propia a partir de información del Atlas de Vegetación y uso del suelo 2005.

Figura 7. Gradiente altitudinal de la Ciudad de México.



Fuente: INEGI, 2014.

Figura 8. Hipsometría del Suelo de Conservación de la Ciudad de México.



Fuente: GDF, 2012.

6.1.4. Geología.

De acuerdo a la Secretaría del Medio Ambiente (2009) de la Ciudad de México, la composición litológica del Suelo de Conservación de la Ciudad de México (SCCM) es en mayoría de tipo ígneo, debido a la reciente actividad volcánica al sur de la Ciudad. Mientras que la Sierra de Guadalupe posee los únicos rastros de rocas sedimentarias del SCCM, la Sierra Chichinautzin y de las Cruces son también de tipo ígneo en su mayoría, conservando algunas depresiones aluviales entre las formaciones volcánicas. A su vez, las delegaciones Xochimilco y Tláhuac son en su mayor parte suelos lacustres o aluviales, al ser su territorio parte de extintos lagos (figura 9).

Andesita (Sierra de Guadalupe: todos los cerros excepto el Cerro Guerrero; Delegación Tlalpan: Volcán Cuatzontle; Delegación Xochimilco: Cerro Cuatectlan y el Cerro Xochitepec): Su color varía desde los tonos claros a oscuros y hasta negros. Compacta, algo porosa, la andesita rica en cuarzo se llama dacita. Por ser poco fusibles y muy viscosas las lavas que producen a andesita, han corrido poco desde su punto de origen y se acumulan, generalmente, cerca de las grietas o chimeneas volcánicas en forma de masas, cúpulas o diques.

Basalto (Sierra Chichinautzin: Delegaciones Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta): Los basaltos son los representantes volcánicos y son generalmente de color negro azulado a causa de la gran cantidad de pequeños cristales de magnetita esparcidos sobre su masa. El basalto cuando se contrae por enfriamiento se divide en prismas hexagonales que quedan agrupados en posición vertical y oblicua.

Brecha volcánica basáltica (Sierra de Guadalupe y calderas de Sierra Chichinautzin): Se refieren a rocas piroclásticas formadas por material expulsado por la chimenea volcánica, transportados por aire y depositados en la superficie del suelo, en lagos o el mar. Las brechas volcánicas son formaciones consolidadas con tamaño de grano mayor a 32 mm.

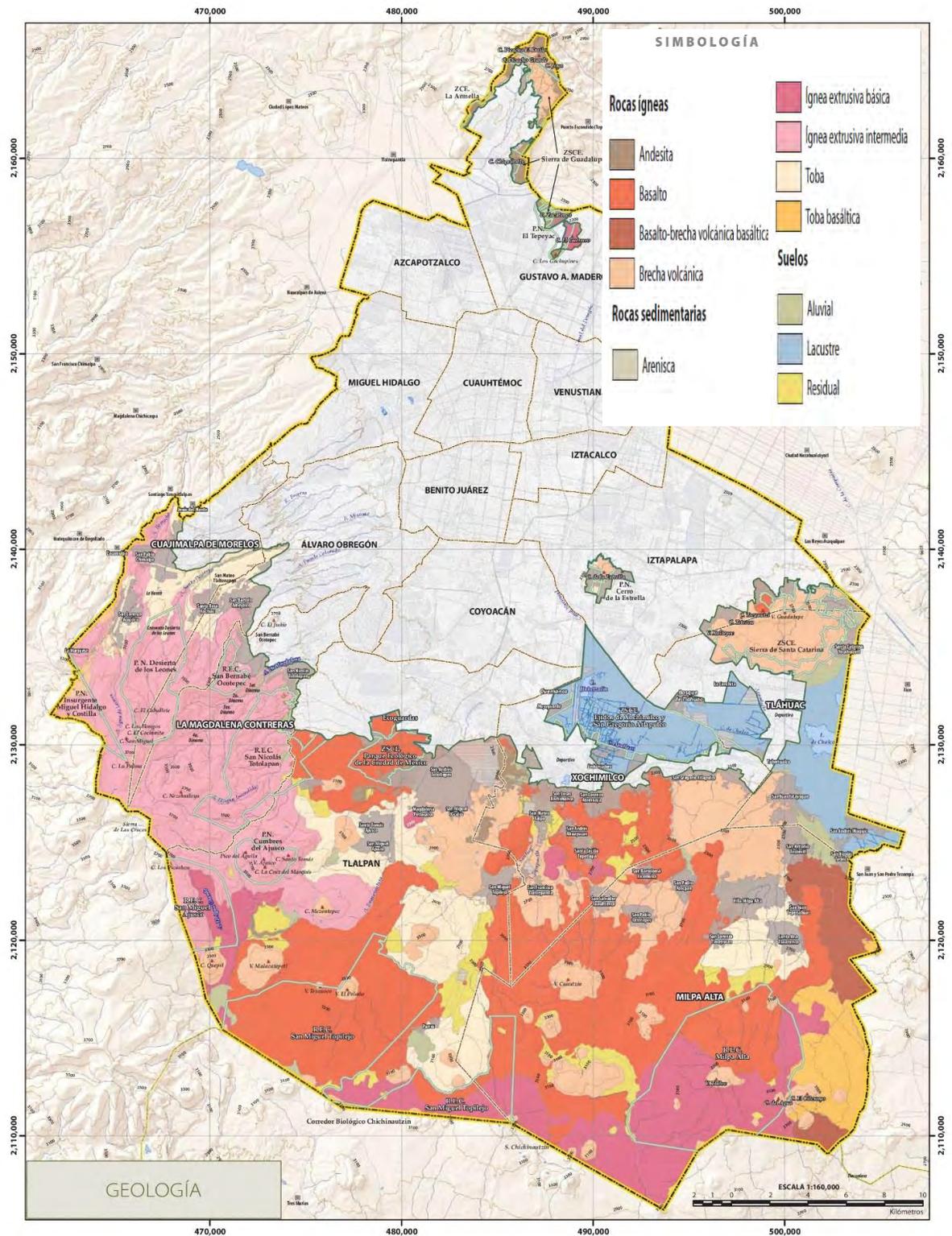
Ígnea extrusiva (Sierra de las Cruces; primeros derrames lávicos de Sierra de Chichinautzin; Delegación Xochimilco: Cerros Zompole y Tioca): Se clasifican en antiguas o modernas de acuerdo a si el período de su origen fue anterior al jurásico o posterior, al comienzo de la era terciaria. En el caso del municipio de Huitzilac, todas corresponden al tipo moderno. Las extrusivas pueden ser Andesitas, riolitas, traquitas, basaltos o vidrios volcánicos.

Aluvial (Delegación Tlalpan y Milpa Alta: hondonadas en Sierra Chichinautzin; Xochimilco y Tláhuac: pie de montaña): Producto de las zonas de escurrimiento permanente, ubicadas en cañadas de baja pendiente.

Suelo lacustre (Canales, llanos y chinampas de las Delegaciones Xochimilco y Tláhuac): Originado por la desecación de los lagos de Xochimilco y Xico.

Toba basáltica (Delegación Milpa Alta: Cerro el Cilcuayo): de textura piroclástica color pardo amarillento, con cristales de plagioclasas y fragmentos de roca, mal compactada y poco tenaz, con horizontes pseudoestratificados de lapilli.

Figura 9. Geología del Suelo de Conservación de la Ciudad de México



Fuente: GDF, 2012.

6.1.5. Edafología.

Dentro del suelo de conservación dominan los suelos andosoles (40.1%), seguidos por los feozems (27.8%), litosoles (25.8%), gleysoles (1.4%), solonchaks (1.3%), fluvisoles, cambisoles y luvisoles con menos de 1% de superficie del área de estudio (tabla 5, figura 10). Los cuales se describen brevemente a continuación, a partir de la Base referencial Mundial del recurso suelo, publicado por la FAO (2007).

Los suelos andosoles se caracterizan por ser suelos negros de paisajes volcánicos; del japonés an, negro, y do, suelo. Material parental: Vidrios y eyecciones volcánicas principalmente ceniza, pero también tufa, pómez y otros) u otro material rico en silicato. Ambiente: Ondulado a montañoso, húmedo, y regiones árticas a tropicales con un amplio rango de tipo de vegetación. Desarrollo del perfil: La meteorización rápida de vidrios o eyecciones volcánicas resulta en la acumulación de complejos órgano-minerales estables o minerales de bajo grado de ordenamiento como alofano, imogolita y ferrihidrita. La meteorización ácida de otro material rico en silicato en climas húmedo.

Los feozems son suelos oscuros ricos en materia orgánica; del griego *phaios*, oscuro, y ruso *zemlja*, tierra. *Material parental*: Materiales no consolidados, predominantemente básicos, eólicos (loess), till glaciario y otros. *Ambiente*: Cálido a fresco (e.g. tierras altas tropicales) regiones moderadamente continentales, suficientemente húmedas de modo que la mayoría de los años hay alguna percolación a través del suelo, pero también con períodos en los cuales el suelo se seca; tierras llanas a onduladas; la vegetación natural es pastizal como la estepa de pastos altos y/o bosque. *Desarrollo del perfil*: Un *horizonte mólico* (más fino y en muchos suelos menos oscuro que en los Chernozems), principalmente sobre horizonte subsuperficial *cámbico* o *árgico*.

Litosoles, del griego lithos: piedra. Literalmente, suelo de piedra. Son los suelos más abundantes del país pues ocupan 22 de cada 100 hectáreas de suelo. Se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, en todas las sierras de México, barrancas, lomeríos y en algunos terrenos planos. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitada por la presencia de roca, tepetate o

caliche endurecido. Su fertilidad natural y la susceptibilidad a la erosión es muy variable dependiendo de otros factores ambientales.

Los gleysoles son suelos con signos claros de influencia del agua freática; del ruso gley, masa lodosa. Material parental: Un amplio rango de materiales no consolidados, principalmente fluviales, marinos y lacustres del Pleistoceno u Holoceno, con mineralogía básica a ácida. Ambiente: Areas deprimidas y posiciones bajas del paisaje con agua freática somera. Desarrollo del perfil: Evidencias de procesos de reducción con segregación de compuestos de Fe dentro de 50 cm de la superficie del suelo.

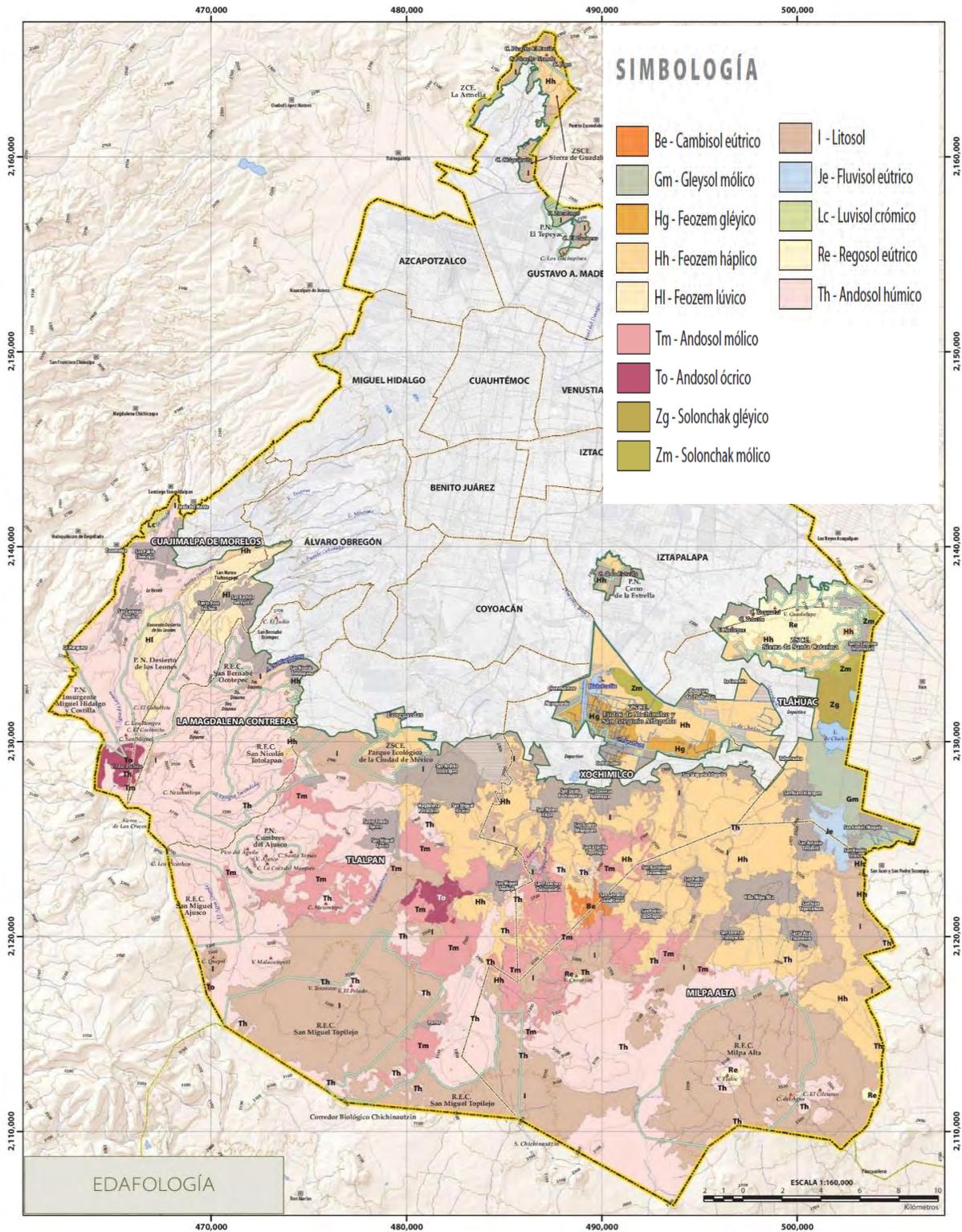
Solonchaks son suelos salinos; del ruso *sol*, sal. *Material parental*: Virtualmente cualquier material no consolidado. *Ambiente*: Regiones áridas y semiáridas, notablemente en áreas donde la napa freática ascendente alcanza el solum o donde hay algo de agua superficial presente, con vegetación de pastos y/o hierbas halófitas, y en áreas de riego con manejo inadecuado. *Desarrollo del perfil*: Desde débil a fuertemente meteorizados, muchos Solonchaks tienen un *patrón de color gléyico* a cierta profundidad. En áreas bajas con capa de agua somera, la acumulación de sales es mayor en la superficie del suelo (*Solonchaks externos*). Los Solonchaks donde el agua freática ascendente no alcanza el suelo superficial (o aún el solum) tienen la mayor acumulación de sales a cierta profundidad debajo de la superficie del suelo.

Los fluvisoles son suelos desarrollados en depósitos aluviales; del latín *fluvius*, río. *Material parental*: Predominantemente depósitos recientes, fluviales, lacustres y marinos. *Ambiente*: Planicies aluviales, abanicos de ríos, valles y marismas costeras en todos los continentes y en todas las zonas climáticas; muchos Fluvisoles bajo condiciones naturales se inundan periódicamente. *Desarrollo del perfil*: Perfiles con evidencia de estratificación; débil diferenciación de horizontes pero puede haber presente un horizonte superficial diferente. Los rasgos *redoximórficos* son comunes, en particular en la parte inferior del perfil.

Cambisoles son suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato; del italiano *cambiare*, cambiar. *Material parental*: Materiales de textura media a fina derivados de un amplio rango de rocas. *Desarrollo del perfil*: Los Cambisoles se caracterizan por meteorización ligera a moderada del material parental y por ausencia de cantidades apreciables de arcilla aluvial, materia orgánica, compuestos de Al y/o Fe. Los Cambisols también abarcan suelos que no cumplen una o más características de diagnóstico de otros GSR, incluyendo los altamente meteorizados. *Ambiente*: Terrenos llanos a montañosos en todos los climas; amplio rango de tipo de vegetación.

Luvisoles. Suelos con una diferenciación pedogenética de arcilla (especialmente migración de arcilla) entre un suelo superficial con menor y un subsuelo con mayor contenido de arcilla, arcillas de alta actividad y una alta saturación con bases a alguna profundidad; del latín *luere*, lavar. *Material parental*: Una amplia variedad de materiales no consolidados incluyendo till glaciario, y depósitos eólicos, aluviales y coluviales. *Ambiente*: Principalmente tierras llanas o suavemente inclinadas en regiones templadas frescas y cálidas (e.g. Mediterráneas) con estación seca y húmeda marcadas. *Desarrollo del perfil*: Diferenciación pedogenética del contenido de arcilla con un bajo contenido en el suelo superficial y un contenido mayor en el subsuelo sin lixiviación marcada de cationes básicos o meteorización avanzada de arcillas de alta actividad; los Luvisoles muy lixiviados pueden tener un horizonte eluvial *álbico* entre el horizonte superficial y el horizonte subsuperficial *árgico*, pero no tienen las *lenguas albelúvicas* de los Albeluvisoles.

Figura 10. Edafología del Suelo de Conservación de la Ciudad de México.



Fuente: GDF, 2012.

6.1.6. Clima.

El Distrito Federal es en la mayor parte de su territorio de clima Templado subhúmedo (87%) En el resto se encuentra clima Seco y semiseco (7%) y Templado húmedo (6 %) (figura 11). De acuerdo al sistema de clasificación de Köppen, modificado por E. García y debido a las diferencias de relieve y altitud, para la región en estudio se han identificado dos grupos de climas en el SCCM, que son los siguientes (SMA, 2009):

Clima templado subhúmedo $Cb(w_1)(w)$. $P/T < 55.0$ y $P/T > 43.2$, régimen de lluvias de verano y menos de 5% de la precipitación invernal con respecto a la total. Este clima se encuentra en la parte media de las delegaciones Xochimilco y Milpa Alta, entre el límite inferior de 2,200 y 2,400 m.s.n.m. y límite superior 2,300 y 2,800 m.s.n.m.

Clima templado subhúmedo $Cb(w_2)(w)$. Este tipo de clima que se presenta es el más húmedo de los templados con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal menor del 10%. Se localiza en las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, y parte alta de Xochimilco y Milpa Alta. Comienza a aparecer por encima de los 2300 y 2800 m.s.n.m.

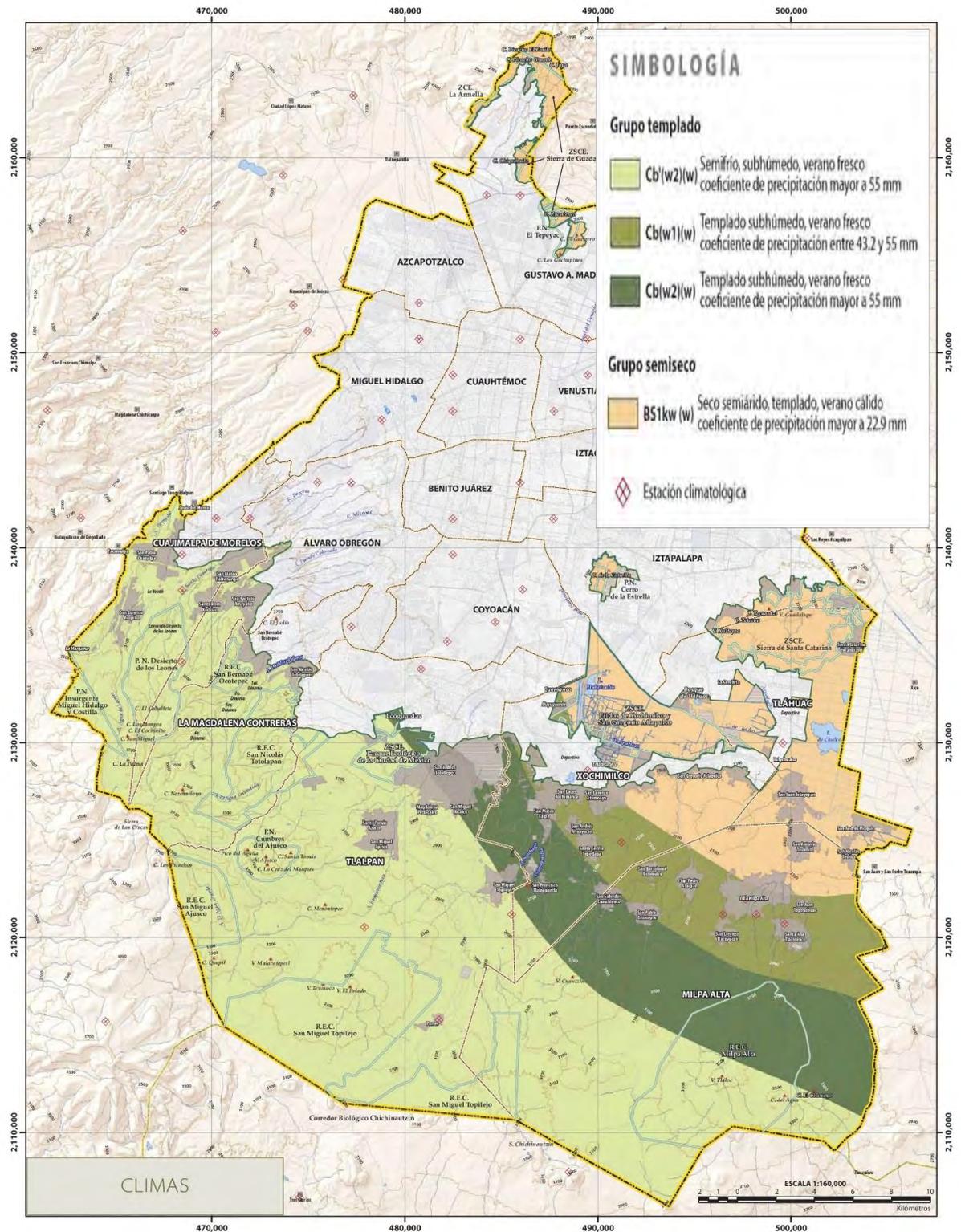
Variante $Cb'(w_2)(w)$ semifrío con temperatura media anual entre 5 y 12°C. Se presenta en la parte alta de las delegaciones Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Tlalpan, en el Volcán Ajusco, Desierto de los Leones y Sierra Chichinautzin.

Clima seco semiárido $BS1kw(w)$. Temperatura media anual entre 12 y 18 °, temperatura media del mes más frío entre -3 y 18°C, $P/T > 22.9$, régimen de lluvias de verano (por lo menos 10 veces mayor cantidad de precipitación en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el mes más seco), la precipitación invernal es menor del 5% con respecto a la total. Se localiza en la parte baja de las delegaciones Xochimilco, Tlalpan y Milpa Alta, y en la totalidad de Tláhuac, Iztapalapa y Gustavo A. Madero. Comienza a aparecer por debajo de las cotas 2,200 y 2,400 m.s.n.m. en las delegaciones antes mencionadas.

La temperatura media anual es de 16°C. La temperatura más alta, mayor a 25°C, se presenta en los meses de marzo a mayo y la más baja, alrededor de 5°C, en el mes de enero.

Las lluvias se presentan en verano, la precipitación total anual es variable: en la región seca es de 600 mm y en la parte templada húmeda (Ajusco) es de 1 200 mm anuales. El avance de la mancha urbana ha puesto en peligro a todos los ecosistemas que existieron en el valle de México. Los primeros en padecer la depredación del género humano fueron los lagos. La zona urbana ocupa la mayor parte del territorio, pero hacia la parte sur y sureste se encuentran zonas agrícolas, principalmente de temporal, donde se cultiva maíz, frijol, avena y nopal entre otras, siendo importantes también las hortalizas y la floricultura.

Figura 11. Distribución del clima en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.



Fuente: GDF, 2012.

6.1.7. Hidrología.

La Cuenca de México se conformó tras un largo periodo de actividad volcánica, durante el cual se configuraron la Sierra de Las Cruces al poniente, la Sierra Guadalupe al norponiente y las sierras de Río Frío y Nevada al oriente. Durante esa etapa geológica la Cuenca vertía sus aguas sur de modo natural, por el sur hacia el Pacífico. La aparición de la Formación Chichinautzin cerró el paso natural del agua, transformándola en una cuenca endorreica con una extensión de 9 600 km.

A partir de entonces, los ríos y manantiales que descendían de las partes altas de sus sierras y cerros, se depositaban en la parte baja de ese vaso cerrado conformando un gran lago, el cual durante la temporada de secas quedaba reducido a cinco lagos de menor tamaño (UAM, 2014).

Dentro del SCCM existen relictos de dos antiguos lagos, que son el Lago de Chalco y el Lago de Xochimilco. Sobre los restos de ambos se desarrolla la actividad chinampera. La cota del espejo de agua del antiguo lago oscila entre los 2,230 y 2,240 m.s.n.m.

El SCCM pertenece a tres regiones hidrológicas, delimitadas por la Comisión Nacional del Agua. Las tres regiones hidrológicas relacionadas con el área de estudio son por orden de importancia Pánuco, Balsas y Lerma-Santiago (figura 12).

Las cuencas presentes dentro del área de estudio son tres, al igual que las regiones hidrológicas y estas tienen la misma poligonal que las regiones, diferenciándose en el tamaño de la unidad de escurrimiento hacia afuera de la Ciudad de México y en el nombre. Dentro de la región Pánuco se encuentra la cuenca del Río Moctezuma, comúnmente conocida como Valle de México, cuya extensión va desde la Sierra Chichinautzin en el Distrito Federal, pasando por el Estado de México, Hidalgo, Querétaro, hasta los municipios de Ébano, San Luis Potosí y Pánuco, Veracruz (SMA, 2009).

En términos generales, la Sierra de Las Cruces drena hacia la llamada zona lacustre metropolitana, mientras que el escurrimiento superficial de la Sierra Chichinautzin y Sierra del Ajusco se dirige hacia la zona lacustre de Xochimilco. Los principales ríos que recorren el suelo de conservación son: Borracho, Agua de Leones, Santo Desierto, Magdalena, Eslava, Tacubaya y San Buenaventura, entre otros (GDF, 2012).

Fuera del área de estudio el Arroyo Santiago vierte sus aguas en el Vaso regulador San Lucas, donde también llegan las aguas del Arroyo Tepapantla. Este vaso regulador se ubica al sur de Centro deportivo Xochimilco. Otro vaso regulador, dentro del área de estudio y de la misma delegación Xochimilco, es el conocido como Ciénega chica, del lado sur del periférico, entre la Glorieta de Vaqueritos y el Canal de Cuemanco (SMA, 2009). A continuación, se presenta un listado de los principales cuerpos de agua en todo el Distrito Federal.

Ríos

- Mixcoac (entubado)
- Agua de Lobo
- Churubusco (entubado)
- Los Remedios
- La Piedad (entubado)
- Tacubaya
- Becerra
- Consulado (entubado)
- Santo Desierto
- La Magdalena
- San Buenaventura
- El Zorrillo
- Oxaixtla

Canales

- Chalco
- Apatlaco
- General
- Nacional
- Cuemanco
- Del Desagüe

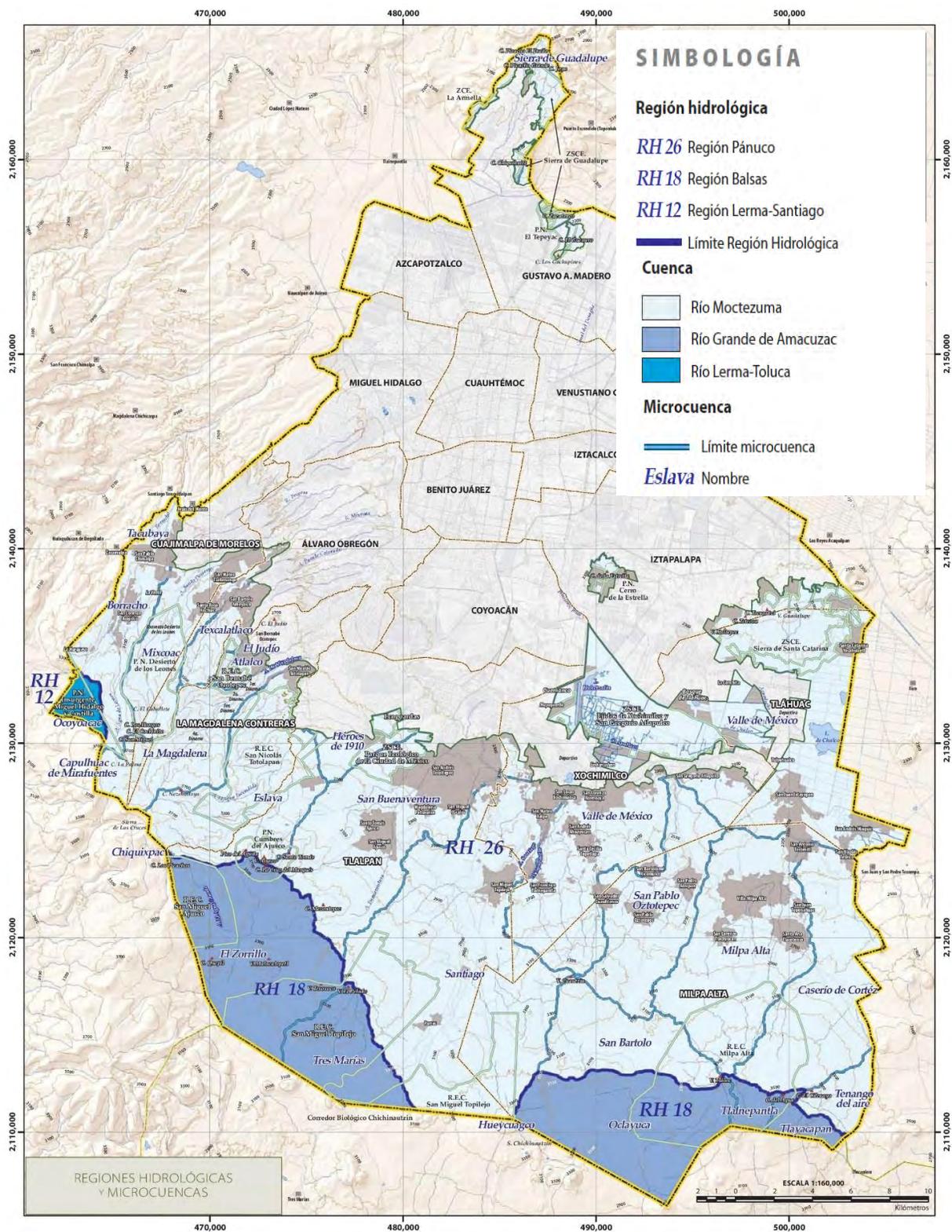
Presas

- Anzaldo
- Mixcoac (Canutillo)

Lagos

- Xochimilco
- San Juan de Aragón (artificial)
- Chapultepec (artificiales)

Figura 12. Regiones hidrológicas en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.



Fuente: GDF, 2012.

6.1.8. Vegetación.

La zona forestal del sur de la Ciudad de México, es considerada como una de las áreas florísticas más ricas de la cuenca de México. Cuenta con cerca de 1,500 especies de plantas fanerógamas; esta riqueza está dada por la convergencia de diferentes factores, entre los que destacan los siguientes (GDF, 2004).

1. Un amplio gradiente altitudinal, que va de los 2,400 a los 3,000 metros, el cual ocasiona cambios climáticos importantes en el ámbito de macro hábitat.
2. La naturaleza estructural de los derrames de lava, que ocasiona una variedad muy grande de micro hábitat.
3. La confluencia de elementos de flora y fauna de la zona biogeográfica neártica.

De acuerdo a la CONAFOR (2006), los ecosistemas identificados en el Suelo de Conservación son:

a) Pastizal. El pastizal o zacatonal, es una comunidad donde la vegetación dominante corresponde a diferentes tipos de gramíneas. En la zona montañosa del suelo de conservación predominan las gramíneas amacolladas de los géneros *Festuca* y *Muhlenbergia*. Se distribuye entre los 2,250 a 4,300 msnm ya sea como única vegetación o como sotobosque del bosque de pinos.

El pastizal además de la importancia ecológica que representa, también tiene importancia pecuaria, si bien con bajo índice de agostadero, por lo que, aunque presenta algunas áreas en buen estado de conservación, en general el pastizal de áreas con pendiente moderada y fuerte, está sobrepastoreado y afectado por incendios y en las zonas planas ha sido en gran parte transformado en campos agrícolas.

b) Matorral Xerófilo. Incluye a las comunidades de porte arbustivo típicas, pero no exclusivas de las zonas áridas y semiáridas. En el Distrito Federal, se presenta generalmente entre los 2,250 - 2,700 metros de altitud, en las Sierras de Guadalupe y de Santa Catarina, dos de las áreas con menor precipitación (alrededor de 600 mm

anuales). También se presenta en una parte importante del derrame de lava del volcán Xitle, ahora contenido dentro del Parque Ecológico de la Ciudad de México y del Centro de Educación Ambiental de Ecoguardas, en este caso su presencia se debe a las condiciones edáficas y la alta precipitación (alrededor de 1,000 mm), ha favorecido una flora rica y variada. En general el estado de conservación va de regular a bueno. Las especies representativas son *Acacia farnesiana*, *Buddleia cordata* y *Mimosa biuncifera*.

c) Bosque de encino. Es uno de los tipos de vegetación que más ha reducido el número de individuos en el país y en el Distrito Federal la situación no es diferente. Se presentan algunos manchones en las Delegaciones Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco a una altitud entre los 2,350 y 3,100 msnm; además de la zona poniente, en las partes bajas de la Sierra de las Cruces y a lo largo de algunas barrancas, extendiéndose así por la zona urbana. La especie representativa es *Quercus rugosa*, *Q. affinis*, *Q. candicans*, *Q. castanea*, *Q. lauriana*, *Q. mexicana*, *Q. desertícola*, *Q. frutex*, *Q. laeta*, *Q. obtusata* (Zavala, 1995).

d) Bosque de pino. Es el tipo de vegetación más representado y ampliamente distribuido en el Distrito Federal. Se presenta en un intervalo altitudinal que va de 2,350 a 3,900 msnm la mayor parte se localiza por arriba de los 3,000 msnm. En términos generales, es el tipo de vegetación en mejor estado de conservación. Situado en una gran extensión, principalmente en las partes altas, el bosque de pinos es una comunidad estructuralmente sencilla, con uno o dos estratos arbóreos y el sotobosque dominado por diversas especies de gramíneas amacolladas. A su relativa sencillez, debe en parte su capacidad de recuperación ante los diferentes disturbios a que es sometido. Las especies representativas de pinos son (Martínez, 1992): *Pinus hartwegii*, *P. montezumae*, *P. rudis*, *P. pseudostrobus*, *P. leiophylla* y *P. teocote*.

e) Bosque de oyamel. Se localiza principalmente en la zona poniente de la Ciudad de México, a lo largo de la Sierra de las Cruces (Delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras), además de algunas manchas de tamaño variable en las Delegaciones Tlalpan y Milpa Alta. Se presenta en un intervalo altitudinal que va

desde los 2,700 a los 3,500 msnm, en las áreas húmedas y suelo bien desarrollado, aunque ocasionalmente se presenta en zonas rocosas con suelos delgados (litosol). La especie representativa es *Abies religiosa*.

f) Vegetación acuática. La superficie ocupada por este tipo de vegetación no fue cuantificada de manera específica y aparece integrada en el uso agrícola en el área de Xochimilco y Tláhuac en altitudes menores a 2,250 msnm. Esta vegetación está limitada a la zona lacustre, en Xochimilco y Tláhuac. Está constituida principalmente por la vegetación que crece a lo largo de la orilla de los cuerpos de agua, como tulares y carrizales (Bambusáceas y Ciperáceas), además de la vegetación flotante formada principalmente por lirio.

La Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural elaboró un diagnóstico de los ecosistemas que se encuentran en el Distrito Federal y reportan lo siguiente:

Tabla 5. Estado de conservación de los ecosistemas en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.

Tipo de Vegetación	Estado de conservación de los ecosistemas	Tendencias
Bosque de pino	En general bueno y regular, con pocas áreas muy deterioradas.	Condición estable.
Bosque de oyamel	En general regular y mala, con pocas áreas en buen estado.	En proceso de declinación general.
Bosque de encino	En general regular y buena, con pocas áreas en muy mal estado.	Vegetación relictual restringida a zonas abruptas y barrancas.
Matorral xerófilo	En general bueno y regular.	Disminución por cambio de uso del suelo a zonas

		agrícolas.
Pastizal	En general regular y mala, con pocas áreas en buen estado.	Pérdida por desecamiento.
Vegetación acuática y subacuática	En general mala.	Sustitución por especies exóticas y contaminación.

Fuente: GDF, 2004.

En base al cuadro anterior, se deduce que los bosques de oyamel y los bosques de encino han sido afectados considerablemente, en el caso del oyamel por problemas de lluvia acida y en el caso de los encinos por necesidades de leña combustible por los pobladores del área rural. Por otra parte, es necesario resaltar que el matorral xerófito es eliminado por cambio de uso de suelo.

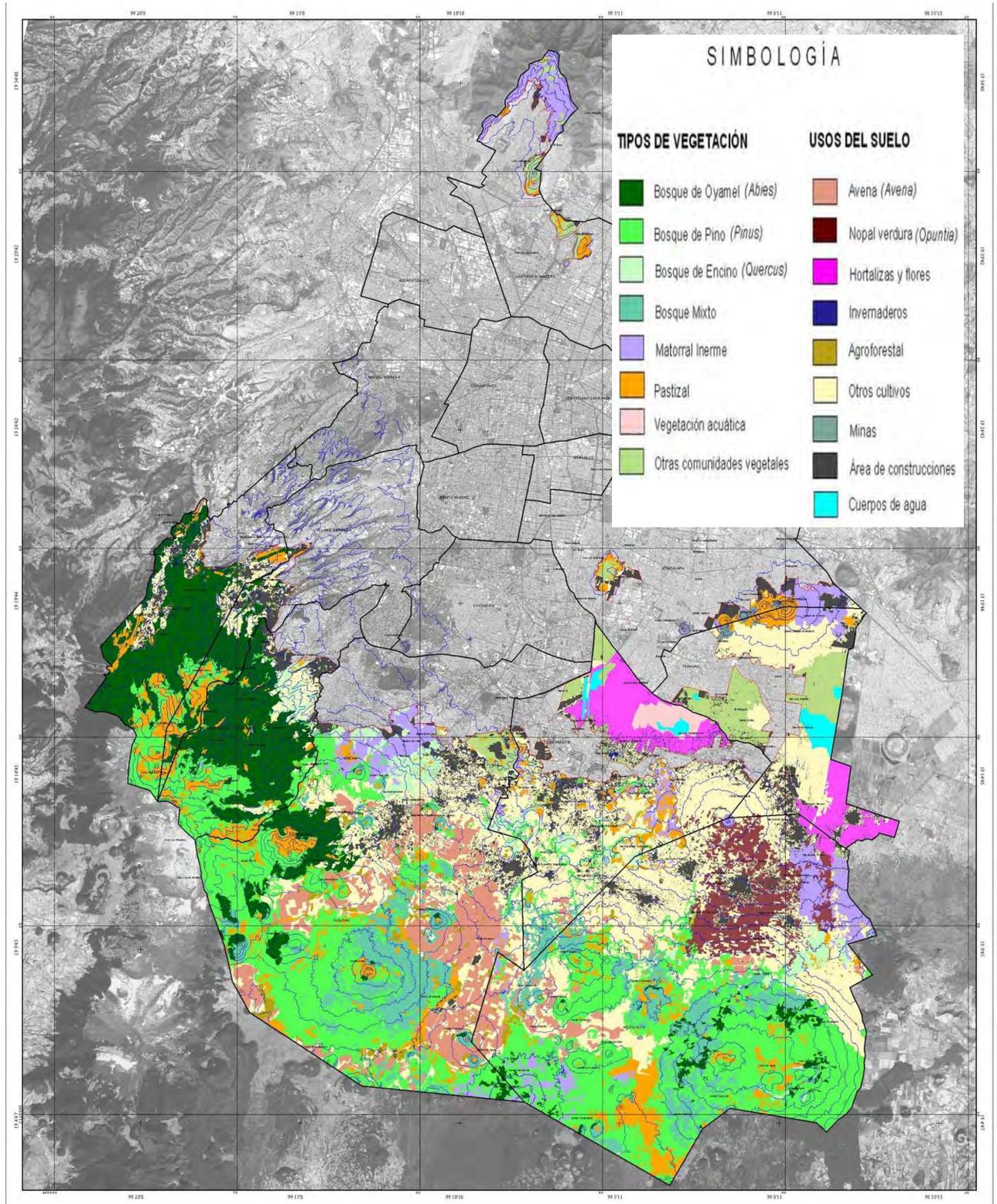
En la Ciudad de México, se tienen varias áreas naturales protegidas que aun conservan su vegetación en estado natural y que cumplen con varias funciones tales como: reguladores del clima, banco de recursos vivos, recreación, investigación y como áreas de captura de agua. La superficie que cubren es de 13,064 ha. A continuación, se presentan algunas áreas.

Tabla 6. Áreas Naturales Protegidas en la Ciudad de México.

Área natural protegida	Superficie (ha)	Ecosistema	Delegación
Bosque de Tlalpan	252.86	Bosque de <i>Quercus</i> y matorral xerófilo	Tlalpan
Bosque de las Lomas	26.4		Miguel Hidalgo
Cerro de la Estrella	143.14	Bosque plantado de Eucaliptos y Cedro blanco, además de matorral xerófilo y pastizal	Iztapalapa
Cumbres del Ajusco	920	Bosque de <i>Pinus</i> y <i>Abies</i> .	Tlalpan
Desierto de los Leones	1529	Bosques de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus hartwegii</i>	Cuajimalpa y Álvaro Obregón
Ejidotes de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco	2567	Vegetación acuática y pastizales	Xochimilco
El Tepeyac	1500	Matorral xerófilo y pastizales inducidos	Gustavo A. Madero
Fuentes Brotantes de Tlalpan		Bosque plantados de Eucaliptos y bosques de encino	Tlalpan
Insurgentes Miguel Hidalgo y Costilla	336	Bosque de <i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus hartwegii</i>	Cuajimalpa
Parque ecológico de la Ciudad de México	727.61	Bosque de <i>Quercus</i> y matorral xerófilo	Tlalpan
Sierra de Guadalupe	633.68	Matorral xerófilo y plantaciones de <i>Eucalyptus</i> , <i>Pinus</i> y <i>Cupressus</i>	Gustavo A. Madero
Sierra de Santa Catarina	748.55	Pastizal	Iztapalapa y Tláhuac

Fuente: GDF, 2004.

Figura 13. Vegetación y uso del suelo del Suelo de Conservación de la Ciudad de México 2005.



Fuente: SMA, 2005.

6.1.9. Fauna.

De acuerdo a los análisis realizados por el GDF en el año 2012, en el suelo de conservación se pueden encontrar hasta 21 especies de anfibios, distribuidas principalmente al norte del Parque Nacional Desierto de los Leones, en la delegación Cuajimalpa de Morelos, los Dinamos en la delegación La Magdalena Contreras, los volcanes Pelado, Chichinautzin, Oyameyo, Caldera y Acopiaco en la delegación Tlalpan y volcán Tláloc en la delegación Milpa Alta. Algunas especies representativas en el SCCM son: *Ambystoma altamirani* (ajolote), *Ambystoma mexicanum* (ajolote), *Bufo compactilis* (sapo de meseta), *Hyla alicata* (rana de árbol) y *Rana montezumae* (rana Moctezuma).

En cuanto a los reptiles, se pueden encontrar hasta 28 especies, distribuidas principalmente en las Sierras de las Cruces en la delegación Cuajimalpa de Morelos, los Dinamos y Cerro San Miguel en la delegación La Magdalena Contreras, Sierra de Chichinautzin, volcanes Quepil, Pelado y Chichinautzin en la delegación Tlalpan y volcanes San Bartolito, La Comalera, Cuautzin y Tláloc en la delegación Milpa Alta. Algunas especies representativas en el SCCM son: *Barisia imbricata* (falso escorpión), *Sceloporus aeneus* (lagartija llanera), *Sceloporus torquatus* (lagartija de collar), *Sceloporus grammicus* (lagartija), *Phrynosoma orbiculare* (lagartija mexicana o falso camaleón) y *Crotalus triseriatus* (cascabel enana).

Por otro lado, pueden encontrar hasta 152 especies de aves, distribuidas principalmente en el Parque Nacional Desierto de los Leones en la delegación Cuajimalpa de Morelos, los Dinamos en la delegación La Magdalena Contreras, volcanes Pelado, Chichinautzin y Malacatepec en la delegación Tlalpan y volcanes Tláloc, Cuautzin y Cilcuayo en la delegación Milpa Alta. Algunas especies representativas en el SCCM son: *Ergaticus ruber* (orejas de plata), *Dendrortyx macroura* (gallina de monte), *Xenospiza baileyi* (gorrión serrano), *Buteojamaicensis* (aguillilla cola roja), *Cyananthus sordidus* (colibrí oscuro), *Pheucticus melanocephalus* (tigrillo) y *Cyanocitta stelleri* (azulejo copetón).

Finalmente, se pueden encontrar hasta 57 especies de mamíferos, distribuidas principalmente en las Sierras de las Cruces en la delegación Cuajimalpa de Morelos, los Dinamos y Cerro San Miguel en la delegación La Magdalena Contreras, los volcanes Quepil y Pelado en la delegación Tlalpan, y los volcanes La Comalera, Cuautzin y Tlálloc en la delegación Milpa Alta. Algunas especies representativas en el SCCM son: *Peromyscus melanotis* (ratón de monte), *Neotomodon alstoni* (ratón de los volcanes), *Bassariscus astutus* (cacomixtle), *Romerolagus diazi* (zacatuche), *Sylvilagus floridanus* (conejo de monte) y *Cratogeomys merriami* (tuza).

6.1.10. Panorama general del sector rural.

El Suelo de Conservación también es llamado Suelo Rural, de acuerdo a la Ley de Desarrollo Agropecuario, Rural y Sustentables del Distrito Federal, expedida el 08 de diciembre de 2011. Esta área proporciona servicios y bienes ambientales indispensable para la permanencia de la Cuidad, la vegetación natural constituye el principal elemento de estabilización de suelos y conservación de los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, así como un medio importante para la captura de carbono y retención de partículas suspendidas.

Los usos del suelo agrícola y forestal cubren en mayor medida el suelo rural, el 56% de su superficie alberga vegetación natural de bosques templados de coníferas y latifoliadas, pastizales, matorrales y vegetación acuática, el 9% tiene un uso habitacional y las actividades agropecuarias se desarrollan en casi el 34% de la misma.

La producción agrícola se caracteriza por ser tradicional y poco tecnificada, principalmente de temporal y sobre pequeñas superficies distribuidas en todo el suelo de conservación. Sin embargo, los cultivos más importantes como el nopal verdura, maíz grano, amaranto, avena forrajera, las hortalizas y ornamentales, se encuentran concentrados en zonas fácilmente identificables, definidas por su altitud, tipo de suelo o disponibilidad de agua para riego.

De acuerdo a la Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades (SEDEREC) en el 2013, en la Ciudad de México el 75% de los productores se dedican a la agricultura, mientras que el 25% a la ganadería, se producen 68 cultivos, de los cuales es considerado el segundo productor nacional de nopal verdura, flor de noche buena y plantas de ornato, así como de brócoli y romeritos, mismos que se cultivan en las delegaciones de Milpa Alta, Xochimilco y Tláhuac, principalmente (figura 14). Para incrementar la productividad del sector agrícola, se practica la agricultura protegida, para el año 2012 existían más de 3,200 unidades de producción con agricultura protegida, bajo invernaderos, macrotúneles, microtúneles, techos sombras y mallas sombras en las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac.

En lo que respecta a la ganadería, se produce principalmente ganado ovino, bovino y porcino, en las Delegaciones de Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco, concentrando más de 69,200 cabezas para el año 2011, además de contar con la única cuenca lechera que se localiza en la zona chinampera de esta última. En la Delegación Azcapotzalco, se tienen más de 1,700 cabezas de ganado porcino. La producción de borregos se realiza principalmente en la delegación Milpa Alta y Tlalpan y, finalmente se tiene registro que 243 unidades de producción se dedican a la apicultura (SEDEREC, 2013).

La agroindustria se encuentra poco desarrollada, sin embargo, cierta población se dedica a la transformación de alimentos como el amaranto y el olivo, en el poblado de Santiago Tulyehualco; a la producción de dulces cristalizados en Santa Cruz Acalpixca, ambos en la Delegación Xochimilco; y a la elaboración de mole en San Pedro Atocpan en la Delegación Milpa Alta, en donde se lleva a cabo su Feria Nacional.

Tenencia de la tierra

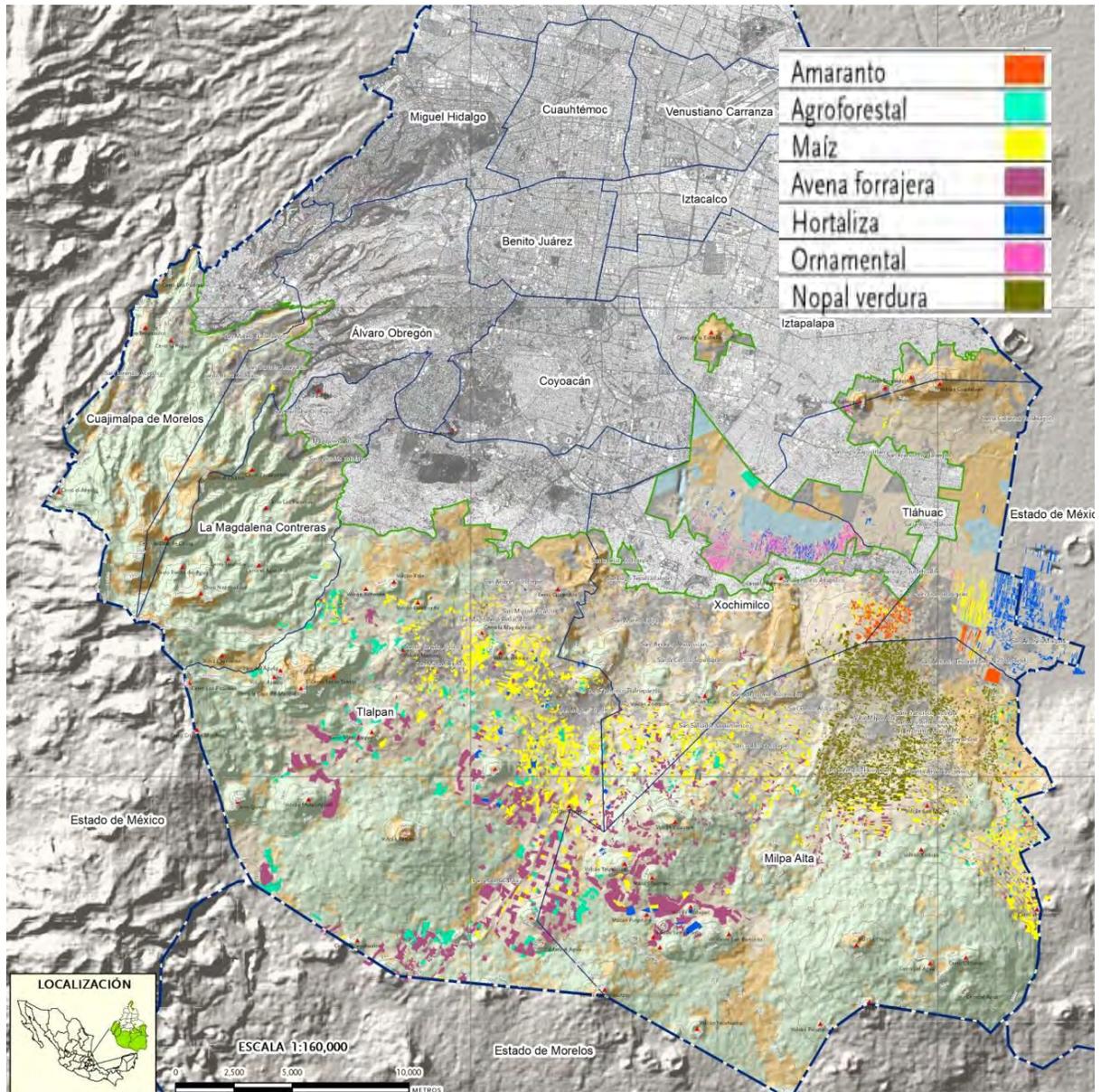
La tenencia de la tierra es un tema importante en la estructura social, política y económica de los pueblos rurales del sur de la Ciudad de México, conforme al VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal del INEGI (2007), la estructura de la tenencia está constituida por el 25.2% ejidal, comunal 37.4% y el 37.5% es propiedad privada.

Por otra parte, en el 86.1% de la superficie sembrada, los campesinos son propietarios de sus parcelas, mientras que sólo el 13.4 % de los productores, rentan o se les prestan los terrenos para el desarrollo de su actividad agrícola.

Volumen de la producción agrícola

El sector rural de la Ciudad de México, se caracteriza por el desarrollo de actividades económicas primarias como la agricultura, ganadería, explotación forestal, acuacultura, entre otras. De acuerdo al Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP), durante el año 2014 el sector agropecuario de la Ciudad de México tuvo un volumen de producción agrícola de 456,414.48 toneladas, cerca de 19 millones de plantas y 9,209.5 gruesas de flores, lo que sumo un valor de la producción de poco más de \$1,212 millones de pesos. Así como un volumen de producción pecuaria de 16 mil 372 toneladas, con un valor de la producción de 194 millones de pesos.

Figura 14. Distribución espacial de los principales cultivos en el Suelo de Conservación de la Ciudad de México.



Fuente: SEDEREC, 2013.

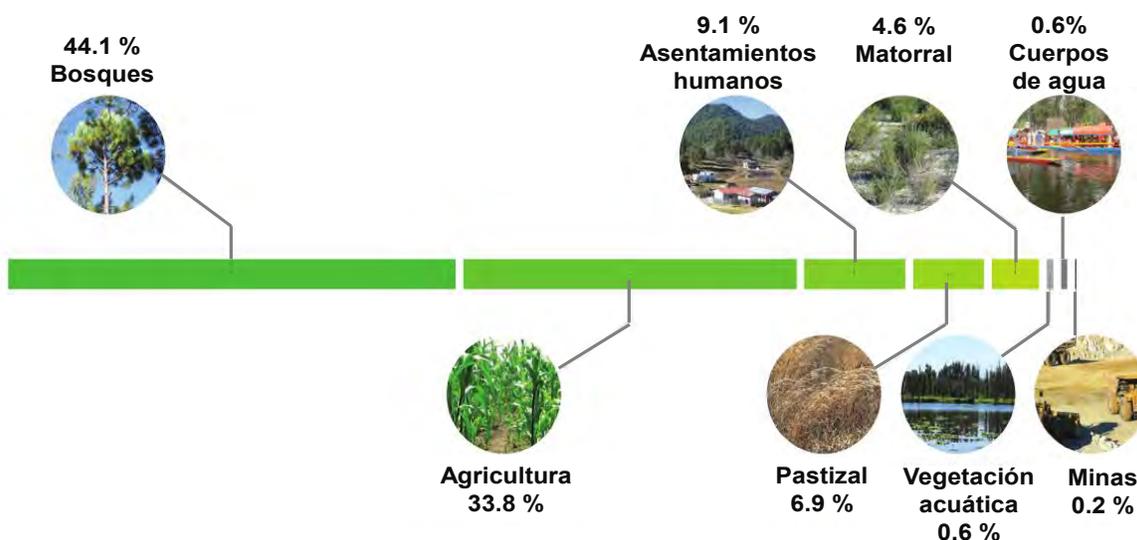
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. ESTIMACIÓN DEL USO DEL SUELO AGRÍCOLA Y FORESTAL 2013

Como resultado de los análisis realizados se obtuvo el Mapa de uso agrícola y forestal de la Ciudad de México 2013 (figura 16), correspondientes al Suelo de Conservación. Se identificaron 9 categorías de uso agrícola, 8 tipos de vegetación y 4 clases de otros usos, mismas que se describen en la tabla 7.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el suelo rural de la Ciudad de México cuenta con una superficie total de 87,296.96 hectáreas, de las cuales cerca del 34% se dedica a la producción de alimentos, 44% se cubre de bosques, el 9% alberga asentamientos humanos, 7% son pastizales, 4.9% matorrales y el 1% se consideran cuerpos de agua y vegetación acuática, mientras que del 0.1% se extraen materiales para la construcción (figura 15).

Figura 15. Distribución porcentual de las superficies de uso de suelo estimadas para el año 2013.



Fuente: Elaboración propia con información de la estimación de uso del suelo 2013

Análisis del cambio de usos del suelo agrícola y forestal del Distrito Federal 2005-2013, utilizando SIG y PR.

Tabla 7. Descripción general de las coberturas estimadas para el año 2013.

USOS DEL SUELO	FORMACIÓN	COMUNIDAD	DESCRIPCIÓN
VEGETACIÓN	BOSQUE	Bosque de Encino	Árboles de entre 5 a 12 metros de altura, de hojas oblanceoladas u obovadas, provistas de pequeños pelos. Prosperan entre los 2,300 a los 3,100 metro de altitud, sobre suelos profundos o someros y con precipitaciones de 700 a 1,200 mm anuales, por lo que ocupa habitats muy similares a los de bosque de Pino. En el Distrito Federal llegan a conformar bosques moderadamente densos, en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta, principalmente.
		Bosque de Oyamel	Árboles siempre verdes, de 30 a 40 m de altura, con ramas horizontales, hojas alternas, lineares y réctas de 30mm de largo con ápice córneo. Se presenta en altitudes de entre los 2600 y 3500 m, casi siempre sobre suelos profundos, ricos en materia orgánica y húmedos durante todo el año. La especie dominante y con frecuencia exclusiva en el estrato superior es <i>Abies religiosa</i> (H.B.K.) Cham. & Schlecht. Se observa en las delegaciones de Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón y Magdalena Contreras.
		Bosque de Pino	Árboles siempre verdes, que llegan a medir los 50 m de altura, con hojas aciculares reuidas de 5 a 6 en fascículos protegidos. Se localizan en altitudes de entre los 2,300 y 4,000 metros. Crecen en suelos profundos o someros y bastante rocosos, en lugares con precipitaciones de 700 a 1,200 mm anuales. Las principales comunidades en el Distrito Federal se integran de <i>Pinus leiophylla</i> Schlecht & Cham., <i>Pinus montezumae</i> Lamb. y <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.
		Bosque de Pino degradado	Bosque de Pino degradado de forma natural, cuya afectación fue de extensión y severidad considerables, causada por fuertes ráfagas de viento que derribaron miles de árboles, en la delegación Milpa Alta.
		Bosque Mixto	Estos bosques están formados por árboles perennes y caducos, aciculifolios y latifoliados, respectivamente. Crecen en suelos rocosos o arcillosos con hojarasca y materia orgánica. Dominan los árboles del género <i>Pinus</i> , <i>Alnus</i> y <i>Quercus</i> . Encontrados principalmente en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta.
		Otras comunidades vegetales	Se trata de comunidades sin una composición florística definida. En la mayoría de los casos son comunidades secundarias, derivadas de la degradación de la vegetación original y de una perturbación continua debida a las actividades humanas.
	MATORRAL	Matorral inerme	Vegetación herbácea y arbustiva que generalmente presenta ramificaciones desde la base del tallo, cerca de la superficie del suelo y con altura variable, pero casi siempre inferior a los 4 m. Formado por elemento inermes y caducifolios, principalmente leguminosas. Se desarrollan en altitudes de 2250 a 2700 m, sobre suelos someros o profundos de laderas de cerros. En el Distrito Federal se localizaron en las delegaciones de Milpa Alta, Tlalpan y Gustavo A. Madero.
	PASTIZAL	Pastizal	Se refiere a comunidades en las que predominan las gramíneas, de no más de 30 cm de alto, principalmente los zacates que se desarrollan de los 2,250 hasta los 4,300 m de altitud. Por su parte, los zacatonales subalpinos y alpinos son comunidades en que predominan plantas amacolladas y altas, de 60 a 120 cm de altura, que se localizan en altitudes entre 3,000 y 4,300 m. Otros pastizales son indudablemente secundarios, que surgen al ser eliminada la vegetación original, por el desmonte de cualquier tipo de vegetación, en áreas agrícolas abandonadas o como producto de áreas que se incendian con frecuencia. en el Distrito Federal se distribuyen en las nueve delegaciones del Suelo de Conservación.
	VEGETACIÓN ACUÁTICA	Vegetación acuática	Son comunidades vegetales ligadas al medio acuático o al suelo permanentemente inundado. Entre los que destaca los Tulares, constituidos por individuos de 2 a 3 m de alto, arraigados en el fondo poco profundo de los cuerpos de agua de corriente lenta y estacionarios. Asimismo, se refiere a masas densas de Juncos, ubicadas en orillas de zanjas y canales, principalmente en la delegación Xochimilco. Por su parte, la vegetación flotante se constituye de delgadas capas de <i>Lemna</i> spp. En cuanto a la vegetación leñosa que bordea las corrientes de agua, principalmente de zanjas y canales, predominan los ahuejotes, ahuehuetes y ailes, en las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac.
	OTROS USOS	NA	Asentamiento humano
NA		Minas	Se trata de excavaciones realizadas para la extracción de materiales pétreos, principalmente para la construcción, tales como grava, tezontle, arena y basalto. Se ubican principalmente en las delegaciones de Iztapalapa y Tláhuac.
NA		Cuerpos de agua	Se refiere a los depósitos de agua como lagos, lagunas, zanjas y canales de las delegaciones de las delegaciones de Xochimilco y Tláhuac.
NA: No Aplica			

Fuente: Elaboración propia con información de Miranda F. y E. Hernández (1963); Rzedowski J. (1978).

De la superficie agrícola se interpretaron seis cultivos diferentes, infraestructura dedicada a la agricultura protegida, cultivos diversos que por el tamaño de sus unidades de producción y su grado de dispersión fueron difíciles de diferenciar, así como el suelo agrícola no sembrado. Los cultivos de temporal clasificados fueron el maíz, avena forrajera, amaranto, plantaciones de frutales y árboles de navidad, denominados agroforestales, los cuales se distribuyen en las delegaciones de Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta, principalmente. El cultivo perenne más importante es el nopal verdura, ubicado en la delegación Milpa Alta, mientras que la agricultura de riego se desarrolla en Xochimilco y Tláhuac, sobre los cultivos de hortalizas y flores (figura 16).

En su totalidad, el uso agrícola cubre una superficie de 29,490.0 ha., los cultivos de avena forrajera, maíz, nopal verdura, así como las hortalizas y flores son los más importantes (tabla 8), en su conjunto suman el 53.5% de la superficie total dedicada a la producción de alimentos. Por otro lado, durante el periodo de estudio el 23% del suelo dedicado a la agricultura no se encontraba sembrado, superficie que se hizo más extensa en las delegaciones de Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco.

Respecto al uso forestal, se estimó un total de 38, 524.8 ha., de las cuales 18,567.4 ha. son Bosque de Pino, ubicado en la zona limítrofe de las delegaciones de Cuajimalpa de Morelos y Magdalena Contreras, mientras que su mayor superficie se localiza en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta, los Bosques de Oyamel se ubican en las delegaciones de Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón y Magdalena Contreras, en las que suma 9,276.9 ha. estimadas. Los Bosques de Encino, se encuentran en la parte norte del suelo de conservación, en la delegación Tlalpan, así como al oriente de Milpa Alta, sobre el cual se identificaron 2,014.6 hectáreas. Por otro lado, los bosques Mixtos, definido así por la presencia de especies de pino, aile y encinos, localizados en Tlalpan y Milpa Alta, sumaron una superficie estimada de 5,807.3 ha.

Cabe resaltar que durante el año 2010 intensas ráfagas de viento derribaron parte del bosque de Pino, en la parte más elevada del volcán Tláloc, delegación Milpa Alta, sumando 828.9 ha siniestradas, mismas que actualmente se encuentran en

reforestación, razón por la cual recibieron en este estudio el nombre de Bosque de Pino degradado.

Los asentamientos humanos se encuentran distribuidos en las nueve delegaciones del Suelo de Conservación, no obstante, los poblados más grandes se concentran en las delegaciones de Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac. En su conjunto se estimaron 7,977.5 ha de superficie construida, las cuales integran asentamientos humanos, equipamiento urbano (mercados, escuelas, templos, centros deportivos y recreativos), vialidades y áreas verdes urbanas.

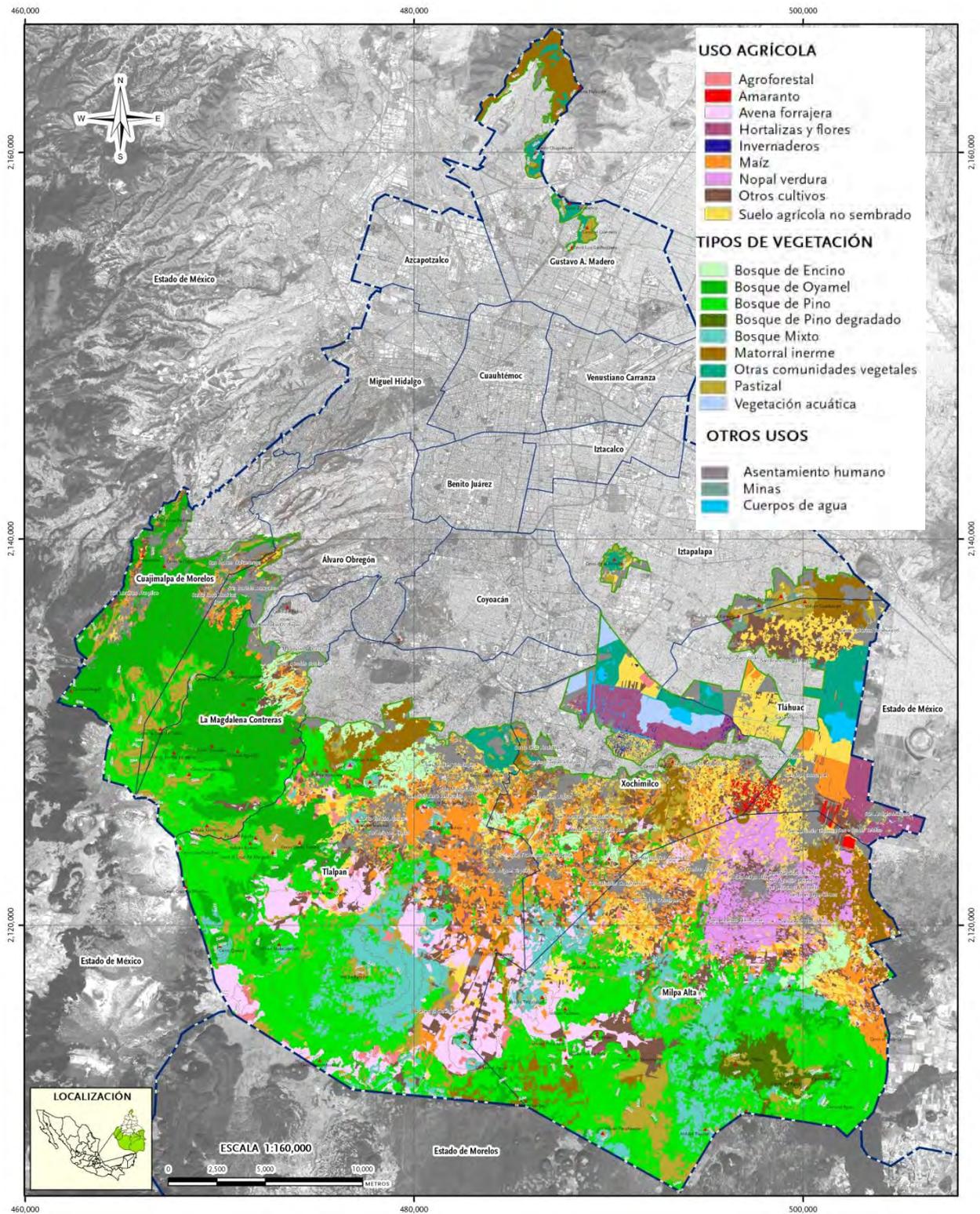
Un uso del suelo importante para la Ciudad de México, por el atractivo turístico que representa, pero principalmente porque es indispensable para la producción de hortalizas y flores, son los cuerpos de agua conformados por canales y lagunas, distribuidos en la parte central de la delegación Xochimilco y Tláhuac, ocupan una superficie de 524.2 ha., y de forma contigua 551.4 ha. de vegetación acuática, como se observa en la tabla 8.

Tabla 8. Superficies de Uso del Suelo Agrícola y Forestal 2013 en el Suelo de Conservación.

USO DEL SUELO 2013	COBERTURA	SUPERFICIE POR COBERTURA	SUPERFICIE POR USO DEL SUELO
		Ha	Ha
AGRICULTURA	Agroforestal	769.14	29,490.03
	Amaranto	217.72	
	Avena forrajera	5,620.46	
	Hortalizas y flores	1,715.11	
	Maíz	5,995.50	
	Nopal verdura	2,437.74	
	Otros cultivos	5,801.12	
	Invernaderos	128.09	
	Suelo agrícola no sembrado	6,805.15	
BOSQUES	Bosque de Encino	2,014.61	38,524.86
	Bosque de Oyamel	9,276.98	
	Bosque de Pino	18,567.42	
	Bosque de Pino degradado	828.90	
	Bosque Mixto	5,807.39	
	Otras comunidades vegetales	2,029.56	
MATORRAL	Matorral inerme	4,046.76	4,046.76
PASTIZAL	Pastizal	6,043.48	6,043.48
VEGETACIÓN ACUÁTICA	Vegetación acuática	551.41	551.41
ASENTAMIENTO HUMANO	Asentamiento humano	7,977.51	7,977.51
MINAS	Minas	138.67	138.67
CUERPOS DE AGUA	Cuerpos de Agua	524.24	524.24
TOTAL		87,296.96	87,296.96

Fuente: Elaboración propia a partir de la interpretación de imágenes del satélite SPOT 5.

Figura 16. Mapa de uso agrícola y forestal de la Ciudad de México 2013.



Fuente: Elaboración propia a partir de la interpretación de imágenes del satélite SPOT 5.

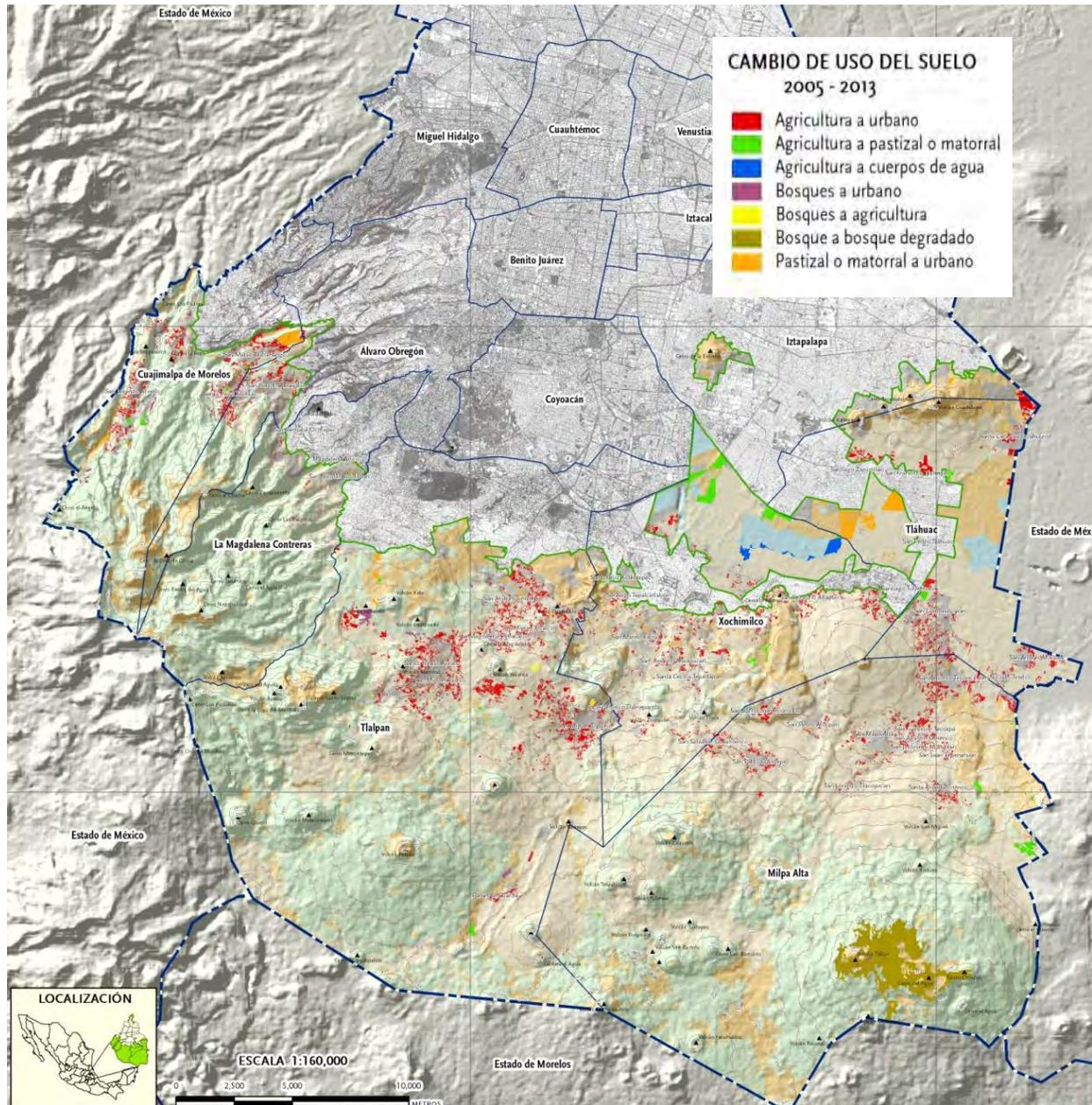
7.2. DETERMINACIÓN DEL CAMBIO DEL USO DE SUELO AGRÍCOLA Y FORESTAL 2005-2013

Finalmente, con el objetivo de obtener las estadísticas del cambio de uso de suelo y su ubicación geográfica, se llevó a cabo la sobreposición de las coberturas corregidas, en formato digital y se realizó el análisis espacial de ambas fechas (t1=2005 y t2=2013).

Los resultados más importantes del análisis espacial llevado a cabo se observan en la figura 19. De 2005 al 2013 la superficie de cambio neto en el uso del suelo fue de 3,335.70 ha, lo que representa el 3.8 % de las 87,296.96 ha que componen el Suelo de Conservación, las cuales sufrieron ganancias y/o pérdidas a lo largo del periodo de estudio. Por otro lado, la superficie que permaneció en el mismo uso de suelo fue de 83,961.27 ha, es decir el 96.2% de la superficie total.

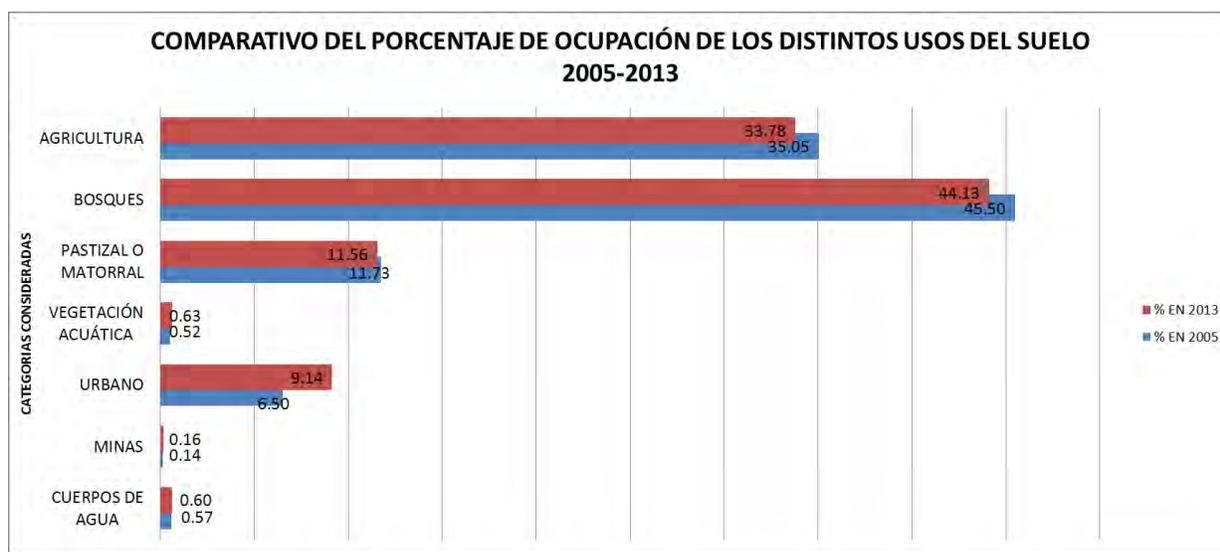
Realizando un análisis comparativo del porcentaje que ocupó cada uno de los usos del suelo en ambos periodos, se observa que los mayores decrementos ocurrieron en la superficie agrícola y boscosa. La agricultura que en 2005 ocupaba el 35% de la superficie del Suelo de Conservación disminuyó al 33.7%, los bosques pasaron de ocupar el 45.5% al 44.1%, mientras que el mayor incremento se dio en la categoría de uso urbano, pasando del 6.5% al 9.1% de ocupación actual (figura 18).

Figura 17. Cambio de uso de suelo agrícola y forestal de la Ciudad de México 2005- 2013.



Fuente: Elaboración propia a partir del análisis espacial de las coberturas de vegetación y uso del suelo 2005-2013.

Figura 18. Porcentaje de ocupación de los usos del suelo en los años 2005 y 2013.



Fuente: Elaboración propia a partir del análisis espacial de las coberturas de vegetación y uso del suelo 2005-2013.

De las superficies estimadas en el año 2005 y 2013, tenemos que durante 2005 la superficie agrícola ocupaba 30,595.1 ha. las cuales decrecieron en un 3.6 %, quedando en 29,490.0 ha. actualmente, por lo que sus 1,105 ha. perdidas se ocuparon en actividades distintas a la original, principalmente para uso urbano, pastizales, matorrales y cuerpos de agua, los cuales substituyeron al uso anterior en las delegaciones Tlalpan y Xochimilco, principalmente (figura 19).

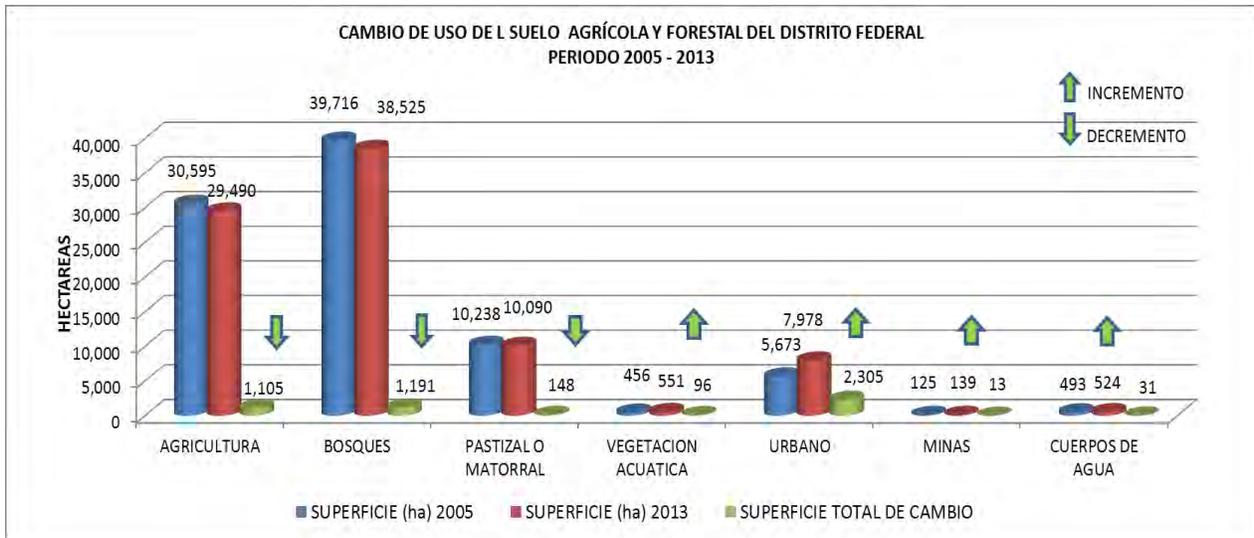
De igual forma se idéntico una pérdida de la cobertura boscosa en este mismo periodo, la cual fue de 1,191 ha., es decir, el 3% de las 39,716.2 ha. reportadas en 2005, lo que representó un incremento importante para el uso urbano principalmente, en las delegaciones Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco.

En este sentido, el uso de suelo que sufrió mayores incrementos en su superficie es el uso urbano, el cual se amplió en un 40.6% respecto a las 5,672.9 ha. presentes en 2005, para este estudio el suelo de conservación cuenta con 7,977.5 ha. de asentamientos humanos, es decir 2,305 ha. más, que se identificaron en mayor medida dentro de las delegaciones Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco. Esta superficie proviene

principalmente de áreas dedicadas a la agricultura, pastizales, matorrales y bosques en menor medida.

Asimismo, la superficie de matorrales y pastizales presentes en 2005 sufrieron decrementos poco significativos, del orden del 1.4% en promedio, mientras que los suelos cubiertos por vegetación acuática, cuerpos de agua y minas se incrementaron en un 21%, 6.3% y 10.5% respectivamente.

Figura 19. Incrementos y decrementos en las superficies ocupadas por la vegetación y uso de suelo en el periodo 2005- 2013.



Fuente: Elaboración propia a partir del análisis espacial de las coberturas de vegetación y uso del suelo 2005-2013.

7.3. MODELO DE DIRECCIÓN DE CAMBIO DE USO DEL SUELO.

Luego del análisis espacial aplicado a la información de los diferentes años, se detectaron las clases y direcciones de cambio en el uso del suelo, en todo el territorio de la Ciudad de México.

Tabla 9. Principales clases y direcciones de cambio de uso del suelo detectadas.

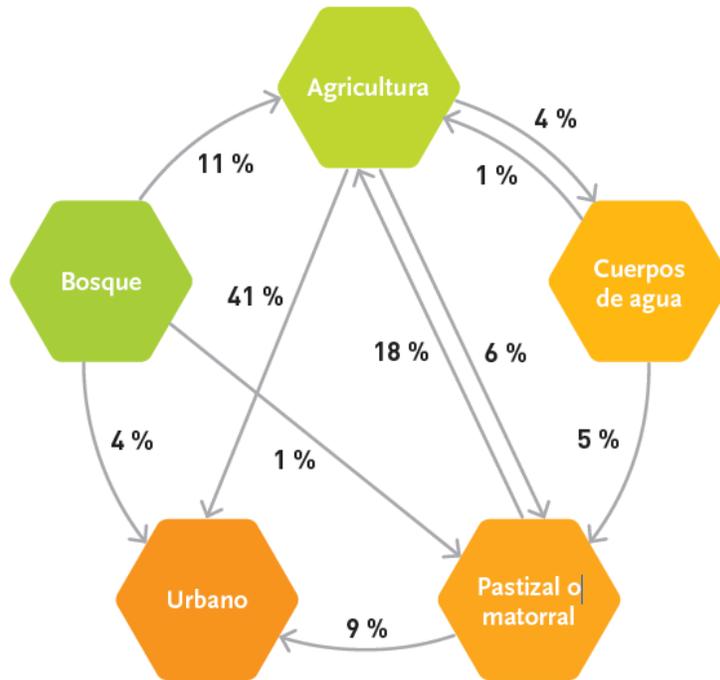
DIRECCIÓN DE CAMBIO EN EL USO DEL SUELO (2005 – 2013)
Agrícola a Urbano
Agrícola a Pastizal o Matorral
Agrícola a Cuerpos de agua
Bosque a Agrícola
Bosque a Urbano
Bosque a Pastizal o Matorral
Pastizal o Matorral a Agrícola
Pastizal o Matorral a Urbano
Cuerpos de agua a Agrícola
Cuerpos de agua a Pastizal o Matorral

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de dirección de cambio de uso del suelo 2005-2013.

Asimismo, estos análisis permitieron construir el *Modelo de dirección y Cambio de uso del suelo*, en el que se detalla la dinámica de los cambios ocurridos a través de la distribución porcentual de todas las interacciones entre usos de suelo, considerando como universo la superficie estimada de cambio neto para todo el territorio (tabla 9).

Es así, que de las 3,335.7 ha. que presentaron algún tipo de cambio, el 54% se transformó en un uso urbano, proveniente principalmente de terrenos que eran usados para la agricultura principalmente, el 30% se transformó en un uso agrícola a partir de pastizales, matorrales y bosques, mientras que el 12% se trataron de cambios ocurridos en favor de los pastizales y matorrales. Finalmente, los cuerpos de agua tuvieron un pequeño incremento del 4% a partir de suelos agrícolas que fueron inundados en los años analizados.

Figura 20. Modelo de dirección de cambio de uso de suelo agrícola y forestal de la Ciudad de México 2005-2013.



Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de dirección de cambio de uso del suelo 2005-2013.

Cabe destacar, que en los análisis realizados se detectaron los cambios ocurridos de 2005 a 2013, con un grado de confiabilidad del estudio del 86%, mientras que el 14% restante representa intercambios entre categorías poco probables (por ejemplo, cuerpos de agua a bosque), producto de transformaciones detectadas incorrectamente y usos del suelo que no fue posible identificar derivado del reducido tamaño de los predios dispersos en toda el área de estudio.

7.4. TASA DE CAMBIO DE USO DEL SUELO

La tasa de cambio representa el porcentaje de la superficie total que cada uso de suelo aumenta o disminuye cada año, respecto al área que ocupaba un año anterior. En este sentido, su cálculo se realizó en función de la fórmula utilizada por FAO (1996), en donde los resultados positivos significan ganancias y los negativos pérdidas.

El cálculo de la tasa de cambio se realizó para cada tipo de uso del suelo, cuyos resultados se encuentran dentro de la media nacional, comparados con el estudio realizado por Velásquez *et al.*, (2002), donde se identificó que la tasa de cambio en México oscila entre el 5 y -2.5 % a nivel nacional, que comparada con las tasas calculadas en el presente estudio son similares (tabla 10).

El resultado del análisis realizado durante el periodo 2005-2013 el uso del suelo Agrícola presento la tasa de cambio negativa más alta comparada con los otros usos del suelo analizados, con un valor de -0.46%; lo que representa una pérdida del orden de 138.1 ha. anualmente, dando como resultado las 1,105.1 ha. perdidas que fueron ocupadas principalmente por asentamientos humanos al final del periodo de estudio.

El segundo valor negativo lo tiene la categoría de Bosques, sobre el cual ocurrieron cambios en un -0.38%, perdiendo 148.9 ha. al año, lo que representó un incremento en la superficie del uso urbano y pastizales.

De igual forma, la tasa de cambio para los pastizales y matorrales se calculó de -0.18% anual, lo que dio como resultado final una pérdida de 18.4 ha. durante los ocho años que comprende el periodo de estudio, lo que significó un incremento anual de la superficie urbana.

Por otro lado, en cuanto al uso de suelo cuya tasa de cambio presento un crecimiento significativo tenemos el uso Urbano, que presento la tasa de cambio más alta en el periodo analizado con un valor de 4.3%, incrementando en promedio 288.06 ha. al año, de 2005 a 2013, dando como resultado final un incremento neto de 2,304.5 ha.

Por último, la vegetación acuática, los cuerpos de agua y la extracción de materiales para la construcción obtuvieron tasas de cambio positivas, del orden del 2.4%, 0.7% y 1.2% anuales, interpretadas como incrementos que a su vez representaron pérdidas para la superficie agrícola en su mayoría.

Tabla 10. Cálculo de la tasa de cambio de uso de suelo.

CATEGORIA	GANANCIAS HA.	%	PERDIDAS HA.	%	CAMBIO HA.	%	TASA DE CAMBIO %
AGRICULTURA	271.43	0.31	1,376.55	1.58	-1,105.10	-1.27	-0.46
BOSQUES	0.07	0.00	1,191.47	1.36	-1,191.42	-1.36	-0.38
PASTIZAL O MATORRAL	552.24	0.63	700.17	0.80	-147.92	-0.17	-0.18
VEGETACIÓN ACUÁTICA	95.74	0.11	0.00	0.00	95.74	0.11	2.41
URBANO	2,304.52	2.64	0.00	0.00	2,304.52	2.64	4.35
MINAS	13.19	0.02	0.00	0.00	13.18	0.02	1.26
CUERPOS DE AGUA	98.50	0.11	67.50	0.08	31.00	0.04	0.76
TOTAL	3,335.69		3,335.69				

Fuente: Elaboración propia a partir del cálculo de la tasa de cambio 2005-2013.

8. PROPUESTAS

A continuación, se presentan algunas propuestas que podrían ayudar a disminuir el cambio de uso del suelo en la zona de estudio, principalmente en los espacios agrícolas, pecuarios y forestales, invadidos en mayor medida por asentamientos humanos irregulares. Estas propuestas se derivan del diagnóstico realizado en esta tesis, de lo comentado con algunos servidores públicos y productores agropecuarios, así como de la experiencia adquirida durante los recorridos de campo.

a) Creación de modernas políticas públicas de incentivo a la producción agropecuaria.

Son diversos los problemas a los que se enfrenta el sector agropecuario y forestal de la Ciudad de México, lo que ocasiona que el cambio en el uso del suelo sea una actividad continua, entre los problemas más importantes podemos mencionar: el acelerado proceso de urbanización consecuencia de una inadecuada planeación urbana, baja rentabilidad de la actividad agrícola incapaz de generar empleos bien remunerados, falta de interés de las nuevas generaciones en las actividades productivas, etc.

Estos son solo algunos de los problemas por los que atraviesa el campo de la Ciudad de México, los cuales no son distintos a los que se presentan en otros estados de la república, aún ante la alta demanda de alimentos de la región, que debiera dar como consecuencia un alto valor a la producción agropecuaria, considerando además la cercanía de la zona productora con la población urbana.

Por lo anterior, se propone la generación de políticas públicas agropecuarias que impulsen la modernización y tecnificación de la producción, que capacite y organice a los productores y que genere verdaderos canales de comercialización, a fin de garantizar la sobrevivencia del sector rural de la Ciudad de México, entre las que podemos proponer las siguientes:

- Promover la capitalización del sector rural a través de apoyos que logren consolidar obras de infraestructura productiva.
- Incrementar la capacidad productiva de las unidades de producción, mediante la capacitación, tecnificación, modernización y mejoramiento de la infraestructura rural.
- Fortalecer los proyectos integrales dirigidos a mejorar la industrialización de los productos agropecuarios.
- Brindar asesoría para la elaboración de proyectos productivos.
- Reactivar la actividad agrícola en aquellas tierras que han quedado abandonadas, dotándolas de insumos y mecanización.
- Organizar a los productores para la compra de insumos y venta de productos.
- Incentivar el aumento de la producción y la mecanización en las áreas de mayor potencial productivo.
- Impartir talleres para la concientización de la preservación del medio ambiente por medio de una cultura ecológica.
- Prevenir la erosión y degradación de suelos agrícolas con cercas vivas, cortinas rompevientos y bordos para disminuir la elevada erosión por la pendiente, principalmente en las partes altas de las delegaciones Tlalpan y Milpa Alta.
- Reconversión productiva a uso forestal mediante el establecimiento de plantaciones forestales de alto rendimiento económico productivo.
- Apoyar y capacitar en el manejo de fertilizantes orgánicos y biológicos para su implementación.
- Monitorear periódicamente por métodos descritos en el presente trabajo, el grave problema de urbanización de lotes que tradicionalmente se dedicaban a la agricultura.
- Crear un centro de investigación agropecuario con el fin de contar con especialistas en desarrollo rural en las zonas de cultivo, que contribuyan a mejorar las condiciones de vida de la sociedad rural, llevando a cabo proyectos de investigación, impartición de cursos y asesoría a

productores, mediante la vinculación académica con diversas universidades.

b) Ordenamiento territorial comunitario o delegacional.

El manejo adecuado del territorio es aquél que permite un uso eficiente del potencial natural del mismo, ocasionando el menor daño posible, acorde con las formas de vida social y cultural de las sociedades locales (Garibay y Bocco, 2011). Un ordenamiento territorial por cada una de las delegaciones políticas sería esencial para los gobiernos locales, pues coadyuvaría en la planificación del territorio, a fin de definir el uso de las áreas a largo plazo y normatividades locales de manejo sustentable, así como de los bienes de uso común. Este instrumento de política ambiental debe desarrollarse promoviendo una fuerte participación de los pueblos originarios de cada región y debería ser apoyado y acompañado por los tres órdenes de gobierno, el cual tendría que retomar las estrategias planteadas en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, que se mencionan a continuación:

1. Impulsar la planeación integral del territorio, considerando el ordenamiento ecológico y el ordenamiento territorial para lograr un desarrollo regional y urbano sustentable.
2. Colaborar con organizaciones de la sociedad civil en materia de ordenamiento ecológico, desarrollo económico y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.
3. Lograr el ordenamiento ecológico del territorio en las regiones y circunscripciones políticas prioritarias y estratégicas, en especial en las zonas de mayor vulnerabilidad climática.
4. Promover la incorporación de criterios de cambio climático en los programas de ordenamiento ecológico y otros instrumentos de planeación territorial.
5. Promover la incorporación del enfoque de cuenca en los programas de ordenamientos ecológicos y en otros instrumentos de planeación regional.

6. Promover la actualización del marco jurídico que regula el Ordenamiento Ecológico del Territorio.
7. Proporcionar apoyo técnico a autoridades estatales y municipales para la formulación de los programas de ordenamiento ecológico regionales y locales.
8. Conducir el proceso de ordenamiento ecológico general del territorio y apoyar los procesos de ordenamientos regionales y locales.
9. Incorporar a organizaciones civiles en el ordenamiento ecológico, desarrollo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

c) Estímulos a la conservación y pago por servicios ambientales.

Una política adecuada que puede revertir la deforestación, alteración de los bosques y cambio de uso del suelo, es un subsidio a la conservación y pago por servicios ambientales (Garibay y Bocco, 2011), unos ejemplos de estos servicios son: calidad del aire, protección y regulación de cuencas, protección del hábitat y especies, secuestro y almacenamiento de carbono, recarga de acuíferos, entre otras. Esta política tendría por objeto premiar la conservación o el manejo a largo plazo del bosque entregado a las comunidades rurales. En este sentido ya existen programas del gobierno federal, en particular de la SEMARNAT y del gobierno local, en concordancia con la Ley para la Retribución por la Protección de los Servicios Ambientales del Suelo de Conservación del Distrito Federal (GODF, 2006), esta última en lo conducente señala: “Tiene por objeto establecer los mecanismos para retribuir a los núcleos agrarios y pequeños productores del Suelo de Conservación, por la protección, conservación o ampliación de los servicios ambientales que brindan a todos los habitantes del Distrito Federal, así como para la realización de actividades productivas vinculadas al desarrollo rural, equitativo y sustentable, ...”, sin embargo, su aplicación aún no se ve reflejada en la conservación de los bosques de la Ciudad de México, por lo que es urgente revisar y adecuar los programas de conservación atendiendo las necesidades reales de los dueños del bosque en las comunidades rurales, en donde la población urbana pague en justa medida por los bienes y servicios ambientales que aporta el suelo rural de la Ciudad de México.

d) Intercambio institucional de información.

Una de las problemáticas más evidentes encontradas durante el desarrollo del presente estudio, fue la escasa o nula comunicación entre los diferentes órdenes de gobierno, lo que limita considerablemente el intercambio de información de cualquier tipo.

Cada instancia atiende únicamente los problemas que son de su competencia, sin llevar a cabo el más mínimo análisis espacial de la problemática existente. Particularmente, en lo que respecta al cambio de uso del suelo, ninguna de las dependencias consultadas contaba con estadísticas actualizadas de lo que está ocurriendo en su territorio.

Por lo anterior, es indispensable la realización de esfuerzos en el desarrollo de estudios más detallados de cada una de las delegaciones políticas, bajo la misma metodología de análisis espacial, lo que brindaría información geográfica y estadística homogénea, que contribuya a revertir el proceso de pérdida de la actividad agrícola y la degradación de los bosques de esta ciudad capital.

9. CONCLUSIONES

Finalmente, podemos concluir que la presente tesis, ha generados dos productos de información espacial muy importantes, que ayudarán sin lugar a dudas en la toma de decisiones en la planificación del territorio del suelo rural o suelo de conservación de la Ciudad de México, derivado de la aplicación de las más recientes herramientas de análisis espacial (Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota).

En primer lugar, se realizó el inventario de la vegetación y uso del suelo 2013 del SCCM, se identificaron y delimitaron las fronteras agrícola, forestal y urbana. De forma paralela se generaron las estadísticas actualizadas de la situación que guarda el campo de la Ciudad de México y sus recursos naturales, evidenciado la reducción de las superficies agrícolas y forestales derivado de la expansión de los asentamientos humanos, que los empuja a la degradación y, quizá en poco tiempo, a su desaparición.

Por otro lado, en la segunda parte de este estudio, denominado análisis del cambio de uso del suelo agrícola y forestal del SCCM, objetivo principal de esta tesis, se realizó el análisis comparativo de la información geográfica de la carta de vegetación y uso del suelo 2005 con el inventario 2013, generado en este proyecto. Como resultado de la presión que ejercen los asentamientos humanos sobre el suelo agrícola se pierden en promedio 138 ha. al año, las cuales se encuentran ubicadas en la periferia de los poblados originarios y en zonas de conservación o áreas naturales protegidas, como por ejemplo los asentamientos irregulares identificados dentro de la zona chinampera de la Delegación Xochimilco y al interior de la zona de bosque de oyamel en la delegación Cuajimalpa de Morelos.

En este sentido, también es muy clara la pérdida de la masa forestal, pues durante el período de estudio se deforestaron 1,191 ha. lo que significa una pérdida muy grande de los recursos forestales de esta Ciudad, en otras palabras, mensualmente se ha venido perdiendo dos veces la superficie equivalente al estadio azteca durante ocho años. La pérdida o fragmentación de la vegetación natural y la pérdida de la superficie

cultivable ha sido inminente, lo que refleja la necesidad de mejorar las condiciones productivas y socioeconómicas de los habitantes de la zona rural, a fin de contrarrestar el proceso de ocupación, abandono o venta de las tierras agrícolas.

El aminorar los impactos negativos de la dinámica actual del cambio de uso del suelo y migrar hacia una estrategia de planificación integral, ayudaría a asegurar un desarrollo sustentable en el corto, mediano y largo plazo de toda la Ciudad de México.

Por otro lado, se considera que este tipo de estudios deben ser una herramienta indispensable para el planificador agropecuario, el uso de la tecnología geoespacial (SIG y percepción remota), permite al planificador tomar decisiones de una manera más rápida y acertada, en sus diferentes escalas de trabajo, local, regional, estatal o nacional. Es así, que el planificador puede reducir la complejidad y costos de realizar sus tareas de planificación, al integrar aspectos físicos, económicos y sociales al análisis espacial de un territorio, en su búsqueda por resolver problemas del medio rural, identificar las estrategias y alternativas de desarrollo agropecuario que puedan contribuir al bienestar de las comunidades.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aronoff, S. 1989. Geographic Information Systems: A Management Perspective. Geocarto Internacional. 4:4 58 pp.

Atrop, M. 2005. Why landscapes of the past are important for the future. In landscape and urban planning. 70:21-34

Baeza M. A. 2015. Propuesta Metodológica para el análisis de la accidentabilidad ocasionada por el transporte público de pasajeros en el Distrito Federal. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. UNAM. México.

Barrientos, R.M. 2015. Cambio de uso del suelo forestal en México: su legislación y gestión. Tesis de licenciatura. Facultad de Derecho. UNAM. México. 189 pp.

Butler, M.J.A., M.C. Mouchot, V. Barale y C. LeBlanc. 1990. Aplicación de la tecnología de Percepción Remota a las pesquerías marinas: manual introductorio. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 295. Roma. 212 pp.

Comisión Nacional Forestal. 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009. Coordinación General de Planeación e Información. Gerencia de Inventario Forestal y Geomática. CONAFOR. D.F., México. 212 pp.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2011. Logros 2011. Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz, México en el periodo 2003–2011. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. SEMARNAT. México, D. F. 43 pp.

Correa V. R. 2015. Metodología para mejorar la seguridad vial en carreteras mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, tramo México-Toluca. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. UNAM. México.

DeFries, R., J. A. Foley and G.P. Asner. 2004. Land use choice: balancing human needs and ecosystem function, frontiers. *Ecological environment*. 2;5 249-459 pp.

DeMers M.N. 2000. *Fundamentals of geographic information systems*. Second Edition. New México State University . John Willey & Sons, Inc. USA. 498 pp.

Díez P. J. A. 1993. *Introducción a la Percepción Remota*. UAEM. Toluca, Estado de México. 189 pp.

Dueker, K.J. and D. Kjerne. 1989. Multipurpose cadastre: Terms and definitions. *Am. Soc. Photogra. Remote Sens. and Am. Congr. Surv. Mapping*, Falls Church, Va. 5:94-103.

Escalante R. y H. Catalán. 2008. *Situación actual del sector agropecuario en México: Perspectivas y Retos*. Facultad de Economía, UNAM. México. 25 pp.

Esquivel, N. y A. Fregoso. 2003. *Cambio del uso del suelo en la Cuenca Lerma-Chapala, México en el período 1976-2000 a escala 1: 250,000*. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT.

FAO. 1996. *Foret resources assessment 1990. Survey of tr opical forest cover and study of change processes*. 130: 152 pp.

Galicia L., A. García R., L. Gómez-Mendoza y M. I. Ramírez. 2015. *La degradación de los recursos forestales en México*. En:http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=135

Garibay O. C. y G. Bocco V. 2011. *Cambios de uso del suelo en la meseta purépecha (1976-2005)*. SEMARNAT-INE. México. 124 pp.

Gobierno del Distrito Federal. 2000. Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal No. 139.

GODF. 2006. Ley para la retribución por la protección de los servicios ambientales del Suelo de Conservación del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal. Publicada el 04 de octubre de 2006.

Gobierno del Distrito Federal. 2004. Hacia la agenda XXI de la Ciudad de México. Secretaría del Medio Ambiente. GDF. 146 pp.

Gobierno del Distrito Federal. 2012. Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente. Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal. México, D.F. 96 pp.

Haining, R. 2003. Spatial Data Analysis, Theory and practice. Cambridge University Press. Cambridge, U.K.

INEGI. 2007. Guía para la interpretación de la carta de uso de suelo y vegetación. Aguascalientes, Ags.

INEGI. 2007. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. INEGI. México.

INEGI. 2010. Censo de Población y Vivienda, México.

INEGI. 2012. Perspectiva estadística. Distrito Federal. INEGI. México.

INEGI. 2014. Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa. INEGI. México.

INEGI. 2015. Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación. Escala 1:250, 000. Serie V. INEGI. México. 195 pp. En: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo>.

IUSS Grupo de trabajo WRB. 2007. Base referencial mundial del recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informe sobre Recursos Mundiales de Suelo. No. 103. FAO. Roma.

López G. F.J., R. Crecente y C. J. Álvarez. 2002. Los Usos del Suelo analizados mediante S.I.G. XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica. España.

López V. V. H. y W. Plata R. 2009. Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990- 2000. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. México. Núm. 68. Pp 85-101.

Mas J.F., A. Velázquez, J.L. Palacio y G. Bocco. 2003. Una Base de datos geográfica sobre recursos forestales: El inventario Forestal de México. INPE. Brasil. Pág. 2799-2805

Mas J.F., A. Velázquez, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández y A. Pérez. 2004. Monitoreo de los recursos forestales de México en las tres últimas décadas. VI Seminario de actualización en sensoramiento remoto y Sistemas de Información Geográfica, aplicados a la Ingeniería Forestal. Instituto de Geografía. UNAM.

Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. 3 ra. Ed. Botas. 361 p.

Miranda, F. y Hernández, X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 28: 29-179

PND. 2013. Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República. México. 184 pp.

Pumain, D. 2004. Análisis Espacial. Generalidades. En: www.hypergeo.eu

Rivera S. y R. Ortiz. 2010. La expansión urbana sobre el campo mexicano. La otra cara de la crisis Agrícola. Revista Estudios Agrarios. 43: 29-46.

Rzedowski G.C. de J., J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2da. Instituto de Ecología A.C. y CONABIO. Pátzcuaro, Michoacán. 1406 pp.

SAGARPA. 2012. Diagnóstico del sector rural y pesquero: Identificación de la problemática del sector agropecuario y pesquero de México. SAGARPA. México. 49 pp.

Sandoval V. y V. Oyarzun. 2004. Modelamiento y prognosis espacial del cambio en el uso del suelo. Revista de Ciencias Forestales. Quebracho 11:9-21

Schteingart, M. y C. Salazar. 2005. Expansión urbana, sociedad y ambiente. El colegio de México. D.F., México.

Secretaria de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades. 2007. Programa Integral de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades 2008-2012. D.F., México. 138 pp.

Secretaria de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades. 2012. Ley de Desarrollo Agropecuario, Rural y Sustentables del Distrito Federal. Primera Edición. México. 97 pp.

Secretaria de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades. 2013. Padrón Estatal de Productores Agropecuarios del Distrito Federal. OEIDRUSDF-Gobierno del Distrito Federal. México.

SEMARNAT. 2002. Inventarios forestales y tasas de deforestación. SEMARNAT. D.F., México. Pág. 21-32

SEMARNAT. 2003. Informe de la situación del medio ambiente en México 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales. SEMARNAT. D.F., México. 275 pp.

SEMARNAT. 2005. Informe de la situación del medio ambiente en México 2005. Compendio de estadísticas ambientales. SEMARNAT. D.F., México. 269 pp.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2015. Producción anual agrícola 2014. En: www.siap.gob.mx

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2015. Producción anual pecuaria 2014. En: www.siap.gob.mx

Secretaria del Medio Ambiente. 2005. Atlas de Vegetación y Uso del suelo del Suelo de Conservación del Distrito Federal. OEIDRUSDF-Gobierno del Distrito Federal. México. 32 pp.

Secretaria del Medio Ambiente. 2009. Actualización del Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal: Fase de Caracterización. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal – Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

Universidad Autónoma Metropolitana. 2014. Repensar la Cuenca. La gestión de ciclos del agua en el Valle de México. Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F.

Vázquez V. H. y W. Rocha. 2009. Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México,

1990-2000. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 68: 85-101.

Velásquez, A., J.F. Mas, J.R. Díaz-Gallegos, R. Mayorga-Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra y J.L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México. 62: 21-37

Vivancos J., A. Llastarri, M. Grau y D. Vivancos. 2015. La Tierra a vista de satélite. Introducción a la Teledetección.

En://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/i_resolucion.htm