



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

**ACTUALIZACIÓN ESTADÍSTICO ESPACIAL COMO
FUENTE DE UN ORDENAMIENTO TERRITORIAL
EN LA REGIÓN DE LA ZONA SUR DE LA CIUDAD
DE MÉXICO, EN LAS DELEGACIONES
CUAJIMALPA DE MORELOS, ALVARO OBREGÓN,
MILPA ALTA, TLALPAN Y XOCHIMILCO.**



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

Mtra. Diana Ponce Nava Treviño
Procuradora.

Lic. Francisco Javier Cantón del Moral
Subprocurador de Ordenamiento Territorial.

Lic. Teresa Angélica Flores Godínez
Directora de Estudios, Dictámenes y Peritajes de Ordenamiento Territorial.

D.A.H. Edgar Sánchez Barrientos
Subdirector de Estudios, Informes y Reportes de Ordenamiento Territorial.

Elaboración:
Juan M. Labougle, Martha Lucia Alviar.

Revisión PAOT:
Delfo López Velasco, Felipe de Jesús Gomeztrejo Palacios, Berenice Vázquez Balderas.

El presente estudio fue elaborado conforme al Artículo 5º de la Ley Orgánica de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, recibiendo recursos del Programa de Desarrollo Institucional Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Se permite la reproducción total o parcial de este documento sin que sea necesario obtener autorización por parte de esta Procuraduría siempre que se cite correctamente la fuente.

La PAOT apreciará se le envíe una copia de toda publicación o material en el que se utilice este trabajo como fuente.

Diciembre 2010
Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F.
Medellín No. 202, Col. Roma Sur, C.P. 06700
Delegación Cuauhtémoc, México, D.F.
Tel: 52 65 07 80
www.paot.org.mx



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	6
2.	OBJETIVOS.....	8
2.1.	Objetivos particulares	8
3.	ANTECEDENTES.....	9
3.1.	Caracterización de las delegaciones del área de estudio	10
3.2.	Caracterización funcional.....	23
4.	PROCESO METODOLOGICO PARA EL ANÁLISIS DE LOS INDICES DE EXPANSIÓN URBANA Y TRANSFORMACIÓN DEL CAPITAL HIDROLÓGICO-FORESTAL	28
5.	ANÁLISIS DE ÍNDICES DE EXPANSIÓN URBANA Y TRANSFORMACIONES AL CAPITAL HIDROLÓGICO-FORESTAL	42
5.1.	Análisis de cambios en la cobertura y el uso del suelo.....	42
5.2.	Caracterización de las unidades de paisaje o unidades hidro-ecológicas	56
5.3.	Análisis de la expansión urbana	66
5.4.	Análisis de la transformación del capital hidrológico-forestal	72
6.	ANÁLISIS DE LA REGIÓN SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	87
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Limite del área de estudio. Delegaciones políticas.....	11
Figura 2.	Uso de suelo la cuenca Mixcoac (SACM, 2004)	24
Figura 3.	Topografía de la cuenca del río Magdalena (SACM, 2004)	25
Figura 4.	Usos de suelo de la cuenca del río Magdalena (SACM, 2004)	25
Figura 5.	Parteaguas de la cuenca Puerta Grande.(SACM, 2004).....	26
Figura 6.	Parteaguas de la cuenca San Angel Inn (SACM, 2004).....	26
Figura 7.	Parteaguas de la cuenca San Angel Inn (SACM, 2004).....	27
Figura 8.	Esquema metodológico para el análisis de cambio de uso del suelo. (López L. D. y Alviar M. L., adaptado y modificado de Gao J. 2009).	29
Figura 9.	Diagrama de flujo metodológico para la clasificación supervisada. 31	
Figura 10.	Puntos de verificación en campo.....	35
Figura 11.	Esquema metodológico. Fase final.	36



Figura 12.	Clases de cobertura y uso del suelo del año 2000.....	44
Figura 13.	Clasificación Cobertura y uso del suelo año 2006 (imágenes SPOT).....	47
Figura 14.	Clasificación de cobertura y uso del suelo año 2010 (imágenes SPOT).....	48
Figura 15.	Distribución espacial de los principales cambios en la Cobertura y uso del suelo entre años 2000 y 2006.	50
Figura 16.	Distribución espacial de los principales cambios en la Cobertura y uso del suelo entre años 2006-2010.	51
Figura 17.	Comparativo en hectáreas de los años 2000, 2006 y 2010.	52
Figura 18.	Distribución espacial de los principales cambios en la Cobertura y uso del suelo entre años 2000 a 2010.	55
Figura 19.	Paisaje Ecológico. Teoría de la ecología del paisaje.	57
Figura 20.	Mapa de unidades del sistema geomorfológico (Alviar, 2010).	58
Figura 21.	Crecimiento de las zonas urbanas.	67
Figura 22.	Distribución espacial de la expansión urbana 2000-2010.	69
Figura 23.	Índice de expansión urbana por delegación.....	71
Figura 24.	Zonas hidro-ecológicas en el área de estudio.	72
Figura 25.	Captación por unidad hidro-ecológica.	74
Figura 26.	Volumen de escorrentía por unidad hidro-ecológica.	74
Figura 27.	Relación porcentaje de escorrentía y textura de suelos en el área de estudio.	75
Figura 28.	Relación porcentaje de escorrentía y pendiente en el área de estudio.	76
Figura 29.	Mapa de tasa de escorrentía año 2000.....	77
Figura 30.	Mapa de tasa de escorrentía del año 2010.	78
Figura 31.	Índice de transformación del capital hidrológico-forestal. Escorrentía base 2000.....	80
Figura 32.	Volúmenes de infiltración por unidad hidro-ecológica. Años 2000, 2006, 2010.	81
Figura 33.	Distribución de la tasa de infiltración en las 32 zonas. Años 2000,2006 y 2010.	82
Figura 34.	Tasa de infiltración año 2000.	83
Figura 35.	Tasa de infiltración año 2010.	84



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

Figura 36.	Índice de transformación del capital Hidrológico-Forestal. Infiltración base 2000.	86
------------	--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características fisiográficas (SACM, 2004)	24
Tabla 2.	Categorías de cobertura consideradas en el área de estudio.	33
Tabla 3.	Valores del coeficiente C de la escorrentía (de Schwab et al. 1981). 38	
Tabla 7.	Clases de Cobertura y uso del suelo años 2000, 2006, 2010.	46
Tabla 8.	Cambios de cobertura y uso (Ha).....	52
Tabla 9.	Matriz de cambios de vegetación y uso del suelo años 2000 -2006.	53
Tabla 10.	Matriz de cambios de vegetación y uso del suelo años 2006 -2010.	54



1. INTRODUCCIÓN.

Los patrones espaciales de deforestación en región sur de la Ciudad de México, están fuertemente influenciados por la historia económica y la dinámica espacial y temporal del crecimiento urbano, esto se puede asumir como el resultado de cambio en los mosaicos de paisaje que están influenciados por procesos socio-económicos y por el desarrollo urbano en esta importante zona de la ciudad.

Los cambios mencionados, han generado un fuerte dinamismo en el paisaje con sus consecuentes transformaciones tanto en el potencial de las zonas forestales, como en el recurso hídrico de la región.

Uno de los aspectos más relevantes de estos procesos de cambio en el uso del suelo es la transformación de los paisajes, estos han ido cambiando de naturales a rurales y de rurales a urbanos. Estos procesos han causado cambios en la cobertura forestal, en la dinámica hidrológica y por ende en los procesos de recarga del acuífero del cual se abastece la ciudad.

La zona sur de la ciudad que originalmente estaba cubierta por grandes extensiones de bosques en las zonas montañosas, por vegetación arbórea y matorral xerófilo en los piedemontes y por vegetación halófila, acuática y subacuática en las planicies lacustres, ha cambiado en los últimos 40 años, generando procesos que van desde los usos agrícolas y ganaderos en el área rural, a una significativa expansión urbana en las siete delegaciones de la región sur de la ciudad.

Los patrones de desarrollo urbano, han modificado la cantidad y el patrón de áreas construidas, las áreas naturales y las áreas dedicadas a la agricultura y la ganadería, causando efectos en el potencial de los servicios ecológicos, afectando de manera diferencial la sustentabilidad de la ciudad y la posible recuperación de los espacios naturales que pueden prestar servicios ambientales a las misma.

En este contexto y con el fin de establecer la relación del patrón espacial de la urbanización con los procesos de transformación del capital hidrológico-forestal en la región sur de la Ciudad, se utilizaron métodos cuantitativos de análisis espacial, a través del análisis de la configuración del paisaje. Este análisis se llevo cabo, a través del uso de herramientas de Percepción Remota y Sistemas de información Geográfica, los cuales permiten analizar los cambios de la forma más automática posible, generando parámetros cuantitativos que permitieron valorar espacialmente las variaciones producidas en la región, con el fin de establecer un diagnóstico de la expansión urbana y los cambios en el capital hidrológico-forestal.



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

El presente informe está dividido en cuatro capítulos, un capítulo de antecedentes donde se hace una caracterización de las siete delegaciones que conforman la región sur de la ciudad, un capítulo donde se explica el proceso metodológico que se siguió para establecer los cambios dados en el capital hidrológico-forestal y en el crecimiento urbano y por último dos capítulos de análisis y diagnóstico de la situación de la región, donde se presentan los resultados de la transformación del capital hidrológico-forestal y de la expansión urbana de esta importante región de la ciudad.



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

2. OBJETIVOS.

Diagnosticar la zona sur del Distrito Federal con la finalidad de actualizar de forma estadístico espacial los elementos que coadyuven a un ordenamiento territorial.

2.1. Objetivos particulares

- Caracterizar los índices de expansión urbana y de transformaciones al capital hidrológico-forestal de la zona sur del Distrito Federal
- Elaborar un estudio de consulta para mejorar la gestión y planeación territorial que favorezca el manejo y conservación de los servicios ambientales que proporciona la región sur del Distrito Federal



3. ANTECEDENTES

La cuenca de México se extiende sobre una de las zonas tectónicas más complejas, la correspondiente a la porción oriental del Eje Neovolcánico, la cual inició su conformación en el transcurso del período Cenozoico y prosigue en el Cuaternario. La cuenca del valle de México está dividida en pequeñas subcuencas, reconocidas como planicies originadas por levantamientos del Pleistoceno tardío a los que se identifica con fallas y se relaciona con volcanes de diversa magnitud. Una aproximación geológica permite reconocer ocho unidades estratigráficas cuaternarias que incluyen sedimentos clásticos, tefra, suelo y caliche. Por otra parte, destaca lo reducido de la extensión y el espesor del material aluvial a lo largo de los ríos y arroyos, debido a que el material aluvial está constituido por gravas y arenas de espesores finos. Los depósitos lacustres consisten en arcillas generadas de tobas y cenizas volcánicas que se sedimentaron en las tranquilas aguas del lago.

Dentro de la cuenca del valle de México y en particular en el espacio delimitado como suelo de conservación, se encuentran distintas serranías que forman parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y presentan dos unidades morfoestructurales: (1) Talud Transicional (pedimento) y (2) Estructuras Tectovolcánicas mayores. Estas se originan de dos etapas tectónicas que se han prolongado durante los últimos 50 millones de años. La primera, de 45 millones de años de duración genera el conjunto de sistemas de bloques y fosas que tienen una dirección de suroeste a noreste. La segunda, todavía activa, ha perdurado desde hace cinco millones de años y ha producido una serie de las estructuras con dirección generalizada oeste-este, las cuales se caracterizan por presentar un sistema de bloques con fosas que se desintegran en escalones hacia su interior. Estos procesos tectónicos aún activos son evidentes en la Cañada de Contreras, que presenta un arreglo de chimeneas y depósitos volcánicos con desplazamiento con dirección sur, movimientos horizontales y fracturamiento cortical.

La Sierra de Las Cruces y la Sierra del Chichinautzin tienen su origen en la actividad volcánica del Cenozoico Superior. La Sierra de Las Cruces presenta depósitos provenientes tanto de la actividad volcánica de la sierra como de la erosión y acumulación de vulcanoclastos. Ello explica la presencia de depósitos de espesor variable, en estado caótico y cementado, dentro de una matriz lodosa que se intercala con depósitos de origen volcánico. En la Sierra de Las Cruces, el vulcanismo inicia a finales del Mioceno y perdura hasta el Cuaternario y se caracteriza por efusiones de andesitas y dacitas, a través de estrato-volcanes. La actividad volcánica crea extensos abanicos en las lomas al pie de esta sierra, los cuales corresponden a la Formación Las Cruces y a la Formación Tarango. La Formación Las Cruces presenta flujos lávicos y depósitos piroclásticos del



Plioceno, mientras que la Formación Tarango está constituida por tobas, aglomerados, depósitos fluviales, capas delgadas de pómez, horizontes de cenizas y arenas, e intercalaciones de lahares y brechas.

La Sierra Chichinautzin se origina de períodos de vulcanismo durante el Cuaternario Superior. Es la estructura tectovolcánica más joven y extensa de la Cuenca de México. Comprende más de un centenar de conos cineríticos y extravasación de derrames de lavas. Contiene a la Formación Chichinautzin, cuya edad no excede los 40,000 años y, más recientemente, al derrame de lava el Pedregal de San Angel que tiene una edad de 2,400 años. La magnetización normal de las rocas indica un proceso de evolución para esta sierra de alrededor de 700,000 años.

En consecuencia por su origen geológico y las formas del terreno, en la cuenca del valle de México destacan las serranías y las barrancas como elementos funcionales del paisaje. Las barrancas están definidas en la Ley Ambiental del Distrito Federal (2000) como “Depresión geográfica que por sus condiciones topográficas y geológicas se presentan como hendiduras y sirven de refugio de vida silvestre, de cauce de los escurrimientos naturales de ríos, riachuelos y precipitaciones pluviales, que constituyen zonas importantes del ciclo hidrológico y biogeoquímico”. En este sentido, las barrancas forman parte del complejo sistema hidrológico en tanto la cuenca está rodeada de montañas.

Entonces, las barrancas y sus ríos definen las cuencas hidrográficas como unidades morfográficas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las precipitaciones, también conocido como parteaguas. El parteaguas es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios.

3.1. Caracterización de las delegaciones del área de estudio

Para fines administrativos, el Distrito Federal se divide en suelo urbano y suelo de conservación. El suelo de conservación ocupa 86,774 hectáreas (GDF, 2000). La zona de estudio está conformada por las delegaciones de Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco. De acuerdo a los objetivos y con el fin de lograr un análisis integral, de los cambios y transformaciones dados, en la última década en la zona sur de la ciudad, en cuanto a las afectaciones causadas por dichos cambios en el capital hidrológico forestal, se integraron las delegaciones de Magdalena Contreras y Tlahuac. Debido a que el análisis se llevo a cabo en el periodo correspondiente del año 2000 a 2010, se definió el polígono

de estudio con base en las áreas que a partir del mapa de uso de suelo y vegetación del 2000 ya estaban urbanizadas. De esta manera el área de estudio quedó definida como se aprecia en el mapa.

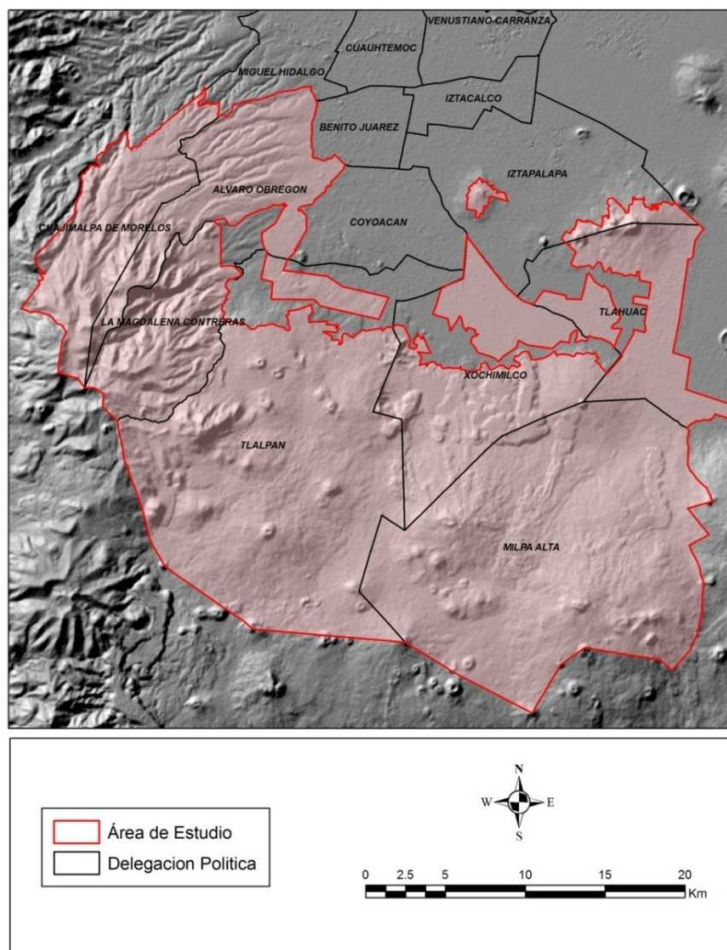


Figura 1. Limite del área de estudio. Delegaciones políticas.

Delegación Álvaro Obregón. Es una de las 16 delegaciones del Distrito Federal de México. Colinda al oriente con las delegaciones: Benito Juárez y Coyoacán, al sur con Magdalena Contreras y Tlalpan, al norte con Miguel Hidalgo y al poniente con Cuajimalpa. Está conformada por 257 colonias, fraccionamientos y barrios, siendo los más importantes: San Ángel, San Ángel Inn, Tlacopac, Ermita, Chimalistac, Florida y Pedregal de San Ángel.

La Delegación Álvaro Obregón tiene una superficie territorial de 8,878.5 hectáreas, lo que representa el 5.9% del territorio del Distrito Federal, por lo que ocupa el quinto lugar por su extensión. El 65.4% del territorio es utilizado para suelo urbano, mientras que para suelo de conservación se dispone del 29.4%. De la



superficie total destinada a la producción agropecuaria y forestal del Distrito Federal, esta delegación contribuye con el 12.0%.

Con respecto a su población la Delegación Álvaro Obregón cuenta con el 8.1% de la población total del Distrito Federal. De la población total de la delegación, el 52.4% son mujeres y el 47.6% son hombres, el grupo de edad más numeroso está constituido por jóvenes de entre 15 y 24 años, los cuales conforman el 17.7% de la población total. La Delegación cuenta con 178,647 viviendas particulares habitadas. En la demarcación se encuentran ubicadas el 8.1% del total de viviendas en el Distrito Federal.□

De la población que habita en la delegación Álvaro Obregón el 62.7% de sus trabajadores se dedican a los servicios, seguido por el 20.1% que se dedican a la actividad comercial. El 9.8% pertenece a la industria manufacturera; 4.2% a la industria de la construcción y solamente un 3.1% se dedica al sector de transportes. Esta delegación contribuye con el 7.1% de los trabajadores que hay en el Distrito Federal, siendo mayor al promedio de la participación en el área de servicios, al ubicarse en 9.2% y en la industria de la construcción con el 8.6%. Con una menor contribución se encuentra el comercio con el 5.7% la industria manufacturera con el 4.4% y el sector de los transportes, correos y almacenamiento con 4.2%.

En esta delegación se reconoce una densa red fluvial. El gran número de escurrimientos que provienen de la Sierra de las Cruces y de una erosión remontante que se inicia en la ribera lacustre, han originado el sistema hidrológico actual, el cual consiste en ocho sub-cuencas fluviales correspondientes a los ríos Tacubaya, Becerra, Mixcoac, Tarango, Tequilazco, Tetelpan, Texcalatlaco y Magdalena, cuyas zonas de escurrimiento se encuentran en diversos grados de conservación o de invasión.

Álvaro Obregón es una de las delegaciones que cuenta con una zona rural y zonas montañosas boscosas. Entre los pueblos ubicados en la sierra están San Bartolo Ameyalco, Santa Rosa Xochiac y Tizapán. Las zonas montañosas localizadas en esta delegación alcanzan los 3,800 msnm, en ellas hay sitios ideales para el excursionismo y la caminata de alta montaña. Por la delegación corre el Río Magdalena, el último río vivo de la ciudad que sufre un grave problema de contaminación.

Delegación Cuajimalpa de Morelos. Esta delegación se localiza al suroeste del Distrito Federal a una altitud de 2,750 msnm. Limita al norte con la Delegación Miguel Hidalgo y el municipio de Huixquilucan del Estado de México; al sur con los municipios de Jalatlaco y Ocoyoacac, al oriente con la Delegación Álvaro Obregón y al poniente con los municipios de Ocoyoacac, Lerma y Huixquilucan, también pertenecientes al Estado de México.



Ocupa una superficie de 8,095 hectáreas, de las cuales; 1,622 hectáreas (20%) corresponden al suelo urbano y 6,473 hectáreas (80.0%) corresponden al suelo de conservación. La superficie total de la Delegación representa el 5.1% del total del Distrito Federal. El clima de la zona es templado y frío-húmedo con una temperatura media anual de 10°C a 12°C y precipitación pluvial de 1,200 mm a 1,500 milímetros anuales.

Respecto a su geotécnica, se encuentra una zona de lomas formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en las rocas y de cavernas y túneles excavados en el suelo para explotar minas de arena.

Su territorio está formado por rocas de origen ígneo y existen depósitos de material originados por una erupción volcánica. En la delegación se encuentra una serie de volcanes más o menos alineados de norte a sur y paralelos a ellos se desarrollan valles profundos y escalonados. Estas formaciones pertenecen a la Sierra de las Cruces. En su edafología tiene andosoles y luvisoles; los primeros están formados por acumulaciones de cenizas y vidrio volcánico, con horizontes promedio de 10 centímetros. Son ricos en materia orgánica, lo que los convierte en suelos propios para la agricultura con prácticas adecuadas de manejo y conservación, por la fragilidad propia de su espesor. Estos suelos se localizan principalmente en las zonas abiertas al cultivo que se encuentra entre los poblados de: San Pablo Chimalpa y San Lorenzo Acopilco, así como en la zona situada al oriente del poblado de San Mateo Tlaltenango y en la zona periférica de Santa Rosa Xochiac, en el paraje conocido como Loma de Doña Juana. En la génesis de los luvisoles, intervienen procesos de acumulación aluvial de arcillas y de acuerdo a la clasificación de la FAO, son propicios para el cultivo de maíz, frijol, sorgo y caña de azúcar. Los luvisoles se encuentran en la mayor parte de la delegación.

Por las características particulares de los predios agrícolas (terrenos con fuertes pendientes, alto índice de precipitación pluvial, horizontes promedio de diez centímetros, prácticas inadecuadas de manejo y conservación de suelos y abandono de tierras), los procesos erosivos son particularmente graves, ocasionando pérdida de suelos y por lo tanto capacidad para ser cultivados. Este proceso los deja expuestos a los asentamientos humanos irregulares.

En las zonas de mayor altitud existen fallas geológicas, presentándose una serie de fracturas, barrancas y cañadas, donde se infiltran grandes volúmenes de agua. Hacia la planicie, la permeabilidad se hace prácticamente nula, por lo que se



forman pequeños cauces por donde corre superficialmente el agua de lluvia en forma de lodo estacional.

Entre las corrientes de agua de la zona destacan los ríos Tacubaya, Santo Desierto y Borracho. Las zonas poniente y centro de la delegación tienen una vegetación de pino con un alto grado de conservación, lo que representa un importante generador de oxígeno; parte de esta área constituye el Parque Nacional Desierto de los Leones. Fianlmente, al sur se localiza una extensa zona de matorral, mientras que en las zonas deforestadas se presentan fuertes procesos erosivos. (PDDU, Cuajimalpa 1997).

Delegación Milpa Alta. Ocupa una superficie total de 28,375 hectáreas, lo que representa el 19.06% del área total del Distrito Federal. La zona ocupada por los poblados rurales abarca una extensión de 1,445 hectáreas, en 12 poblaciones que conforman los asentamientos de la delegación y 26,930 hectáreas como suelo de Conservación.

Esta delegación presenta un relieve sumamente montañoso. Su punto más bajo (en San Antonio Tecómitl) tiene una altitud de 2250 msnm, diez metros por encima del nivel medio de la ciudad de México. El valle de Milpa Alta se encuentra en una franja de tierra con una pendiente poco pronunciada rodeando al volcán Teuhtli. Ahí habita la mayor parte de los habitantes de la delegación. Esta zona está prácticamente despoblada y cubierta por bosques de pinos y oyameles.

La totalidad del territorio de Milpa Alta forma parte de la subprovincia geológica Lagos y Volcanes del Anáhuac, que a su vez corresponde a la provincia del Eje Neovolcánico. Este valle se eleva hasta los 2700 msnm y su clima es más frío que en el resto de la cuenca de México.

En esta región, el INEGI distingue, por la cantidad de lluvia, dos secciones; el valle de Milpa Alta es ligeramente más seco que las laderas serranas pero de cualquier manera es de las zonas más húmedas del valle de México.

La región más húmeda y fría de Milpa Alta son las cumbres de los volcánes Chichinautzin y Tláloc, ahí las lluvias son muy abundantes y la temperatura promedio es de 8 °C, en tanto que para el valle de Milpa Alta es de 14°C. Este pequeño valle separa el volcán Teuhtli de la serranía del Ajusco-Chichinautzin (que toma su nombre de dos de sus picos más altos). La sierra del Ajusco-Chichinautzin constituye la zona más alta del Distrito Federal, con cumbres que rebasan los 3,500 msnm. Forman parte de esta cadena los volcanes Cuauhtzin, Chichinautzin, Tetzacóatl, Acopiaco, San Bartolo y Ocusacayo, todos ellos por encima de los 3100 msnm. (PDDU, Milpa Alta 1997).



Delegación Tlalpan. Tiene una superficie de 30,449 hectáreas, que representan el 20.7% con respecto a la superficie total del Distrito Federal (148,353 hectáreas). El suelo urbano está conformado por 5,023 hectáreas y el suelo de conservación la conforman 25,426 hectáreas, con 16.4% y el 83.6% hectáreas respectivamente. Estos porcentajes no alteran los límites y zonificación primaria del Plan Parcial 1987; sin embargo, el suelo de conservación se ha modificado debido al crecimiento excesivo del área urbana, de los poblados rurales y de los asentamientos humanos irregulares.

La zona de Tlalpan se ubica a 19° 09'57'' de latitud norte y 99° 09'57'' de longitud oeste. La máxima altitud es de 3,930 msnm, en la cumbre del cerro Cruz del Marqués. La mínima de 2,260 msnm, se ubica en los alrededores del cruce de las avenidas Anillo Periférico y Viaducto Tlalpan.

Esta delegación, colinda al norte con las delegaciones de Álvaro Obregón y Coyoacán, al oriente con las delegaciones de Xochimilco y Milpa Alta, al poniente con la delegación Magdalena Contreras y hacia el sur con los límites de los estados de Morelos y México, con los municipios de Huitzilac y Santiago Tlanguistenco, respectivamente. Los límites contenidos en el Diario Oficial de la Federación del viernes 30 de Diciembre de 1994, consideran los Decretos del 15 y 17 de Diciembre de 1898, así como el 27 de Julio de 1994 expedidos por el H. Congreso de la Unión, en los que se ratifican los convenios celebrados con los Estados de Morelos y México respectivamente, en los que se delimita a la delegación Tlalpan.

La delegación tiene sus orígenes entre los años 900 a. C. y 600 a.C. con la población de Cuicuilco. En la actualidad todavía puede apreciarse una pirámide, única en Mesoamérica por su forma cónica, la cual hace referencia a uno de los volcanes de la zona. Dicha aldea prehispánica fue destruida por una erupción que cubrió de lava toda la zona, creando los pedregales del sur del Valle de México. El territorio actual de la delegación Tlalpan abarca más de lo que originalmente fuera Cuicuilco. La delegación está dividida en cinco zonas territoriales, siendo la zona 5 (llamada "Pueblos rurales") la mayor, con 80% del territorio total. El 83% de la población (calculada en 600 mil habitantes en 2004), se concentra en las otras cuatro zonas territoriales, de tipo urbano.

El territorio de la delegación tiene un relieve predominantemente montañoso y de origen volcánico (Cerro La Cruz del Marqués, Cerro Pico del Águila, Volcán Cerro Pelado, Volcán Acopiaco, Volcán Tesoyo y el Volcán Xictle). Es una zona boscosa, generadora de oxígeno y de recarga acuífera. Actualmente presenta grave deterioro, causado por la tala inmoderada de árboles, agricultura de subsistencia e invasiones, sobre todo en la parte que colinda con el suelo urbano. La red hidrográfica de esta delegación está formada por arroyos de carácter intermitente que, por lo general, recorren cortos trayectos para perderse en las



áreas de mayor permeabilidad. Hoy sólo existen los cauces de los que fueron ríos de caudal importante: San Buenaventura y San Juan de Dios.

La vegetación se constituye básicamente por el llamado “palo loco” (Senecio sp) el cual cubre todo el pedregal. Éste es una variedad de matorral heterogéneo con diferencias de su composición floral. También se encuentra pirul y aún encino de varias especies duras. Le sigue el pino, al sur y sureste del Xitle y en las regiones altas del Ajusco. Por último se dan variedades de pino, ocote, jacalote, oyamel y aile. En cuanto a la vegetación de la región montañosa la constituye el bosque de coníferas y diversas especies de cedros, el resto de la vegetación arbórea la constituye el madroño, cuchara y huejote. Solamente en las cimas de los cerros y junto a pinos y oyameles, crecen algunos helechos y musgos. En la superficie del suelo de las regiones donde crece el pino, se forma una cubierta herbácea nutrida que defiende al suelo contra la erosión. Crece abundantemente el zacate grueso, zacatón de cola de ratón, zacayumaque, zacate blanco, pasto de escoba y pasto amarillo. Dentro de los matorrales, crece jarilla verde, limoncillo, zarzal, escoba o perilla, chíá, hediondilla y mejorana.

Tlalpan es, desde los años sesenta, una zona para el crecimiento poblacional, aunque en terrenos no aptos para la urbanización y de poca accesibilidad. Aún así, esta delegación juega un papel trascendental en el desarrollo urbano del sector suroriente del Distrito Federal, ya que se presenta como una alternativa inmobiliaria por el porcentaje de reserva territorial en suelo urbano. □ Esta delegación se ha caracterizado por tener tendencia al equilibrio en cuanto a su dinámica de crecimiento y además, forma parte de las delegaciones ubicadas al sur del Distrito Federal que cuentan con suelo de conservación importante para el desarrollo ecológico y la autorregulación de sus ecosistemas locales. (PDDU, TLALPAN 2010).

Delegación Xochimilco. Se localiza al sureste del Distrito Federal, y colinda con las delegaciones Tlalpan, Coyoacán, Tláhuac y Milpa Alta. Tiene una extensión territorial de 12,520 hectáreas que representa un 8.4% del D.F. El 20% de la delegación consiste en suelo urbano y el otro 80% en suelo de conservación. Las principales elevaciones de la región son los cerros de Xochitepec y Tlacualleli, así como los volcanes Teutli y Tzompol. Corren por su territorio los ríos Santiago, Tepapantla y los canales de Xochimilco que son famosos en todo el mundo porque nacieron una vez que se formaron las chinampas, que al quedar asentadas sobre el enramado se constituyeron en fila una atrás otra.

La parte norte del territorio de Xochimilco es plana y se encuentra a 2240 msnm. Esta zona fue ocupada hace algunos años por el lago de Xochimilco, cuyos vestigios son los canales de la chinampería. Al sur del vaso lacustre se elevan los cerros de Xochitepec, Tzompol, Tlacualleli y Teuhtli, que constituyen el límite natural entre Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac y forman parte de la cadena



montañosa que impide el desagüe natural de la Cuenca de México por el sur. En la cumbre del volcán Axocopiaco el territorio de la delegación alcanza más de 3000 msnmm.

El territorio completo de Xochimilco está integrado en la subprovincia 57 de los Lagos y Volcanes del Anáhuac, perteneciente a la provincia geológica del Eje Neovolcánico. Su superficie se caracteriza por la presencia de cinco sistemas de topoformas predominando la sierra estrato-volcánica, que cubre el 42% del territorio. Este sistema corresponde a la ubicación de los cerros Xochitepec y Tzompol así como a la pendiente del volcán Teuhtli. Otro importante 27% del territorio es clasificado como meseta volcánica o malpaís. Esta fracción corresponde a la falda baja del volcán Tzompol y del cerro Tlacuallelli, ubicados en el centro-sur del territorio de Xochimilco. El resto lo componen tres tipos de llanuras. Un 18%, correspondiente al vaso del antiguo lago de Xochimilco, hoy ocupado por la chinampería, es una llanura lacustre. Otro 12% corresponde a la llanura aluvial ribereña del lago, que señala la transición entre el valle y la sierra. El 1% restante, corresponde a la llanura lacustre salina; una fracción de poco más de un kilómetro cuadrado localizada en la frontera de Xochimilco con Tláhuac e Iztapalapa.

Xochimilco se encuentra en la subcuenca Lago de Texcoco-Zumpango del sistema Moctezuma-Tula-Pánuco. La cuenca, originalmente endorreica, fue abierta artificialmente en el siglo XVII. La superficie del lago de Xochimilco se fue reduciendo gradualmente, hasta la superficie actual constituida por los canales de la zona de chinampas. El lago era alimentado por las aguas de los manantiales que brotaban en los cerros aledaños. Estos fueron canalizados durante el porfiriato para abastecer de agua a la Ciudad de México hasta su agotamiento en 1951. A partir de entonces, los canales de Xochimilco fueron alimentados con agua residual, actualmente tratada por la planta del Cerro de la Estrella. Entre los más importantes de la zona chinampera están los canales Nacional, de Chalco que desaguan el agua proveniente de la sierra nevada, Cuemanco y Apatlaco.

La hidrología de la cuenca de Xochimilco está condicionada por una red de arroyos de escurrimiento intermitente, la que es determinada por la permeabilidad de los suelos y el fracturamiento de las rocas (basaltos, andesitas y otros materiales de origen volcánico). El nivel máximo de escurrimiento se alcanza en el vaso lacustre, lugar en el que las aguas son drenadas artificialmente al Lago de Texcoco vía el Canal Nacional, para de ahí ser dirigidas al tajo de Nochistongo y finalmente salir a la cuenca del Pánuco. Las corrientes que configuran la cuenca de Xochimilco son: los arroyos San Buenaventura, Santiago, San Lucas y San Gregorio, así como numerosas y pequeñas corrientes que bajan a Nativitas, San Luis Tlaxialtemalco, Tulyehualco, Iztapalapa y Tláhuac, proviniendo, en los dos últimos casos del cerro de la Estrella y de la sierra de Santa Catarina.



La flora y la fauna eran abundantes y muy variadas. Existían bosques mixtos, con árboles de madera dura; como el Encino, o blanda; como el Pino. La vegetación estaba formada principalmente por Ahuejotes. Xochimilco es el único lugar del país en donde se puede apreciar este árbol de singulares características. La principal función del Ahuejote es fijar las chinampas al fondo del lago, sin quitar demasiada luz a los cultivos, ya que su ramaje es vertical.

La delegación tiene grandes contrastes. En su territorio se encuentran 14 pueblos originarios: San Andrés Ahuayucan, San Francisco Tlalnepantla, San Gregorio Atlapulco, San Lorenzo Atemoaya, San Lucas Xochimanca, San Luis Tlaxialtemalco, San Mateo Xalpa, Santa Cecilia Tepetlapa, Santa Cruz Acalpixca, Santa Cruz Xochitepec, Santa María Nativitas, Santa María Tepepan, Santiago Tepalcatlalpan y Santiago Tulyehualco, que conservan muchos rasgos de su cultura tradicional y herencia indígena, a pesar del avance de la urbanización. La zona norte de Xochimilco se encuentra integrada con la mancha urbana de la Ciudad de México y en ella se encuentran algunas zonas industriales y de servicios que constituyen parte importante de la vida económica de la delegación. Por otro lado, las montañas del sur y la zona lacustre del centro forman parte de una importante reserva natural del Distrito Federal.

La población de Xochimilco se concentra en una franja que atraviesa la delegación por el centro y tiende a dispersarse hacia el sur, donde el pueblo de San Francisco Tlalnepantla sigue sin conurbarse a la ciudad de México. La tasa de crecimiento de la población de Xochimilco es una de las más elevadas del Distrito Federal. Esta delegación se ha convertido en el destino de movimientos de población que provienen, ya sea de otras delegaciones (especialmente las delegaciones centrales de la capital), ya de otros estados de la república. Los nuevos habitantes de la delegación son atraídos por la disponibilidad de suelo baldío, lo que ha colocado a Xochimilco como una especie de reserva territorial de la ciudad de México.

Las zonas chinamperas y de humedales remanentes al sur del DF (Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta), presentan varios decretos de protección y uso de suelo que resguardan las antiguas prácticas de la chinampería. Una zona importante de Tláhuac y Milpa Alta pertenece al suelo de conservación del Distrito Federal, mientras que la zona chinampera y los humedales de Xochimilco se encuentran decretados desde 1992 como Área Natural Protegida (Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco) De igual forma, gran parte de estas superficies se encuentran dentro de un polígono decretado como monumento histórico y Patrimonio Mundial por la UNESCO desde 1986 y cuya superficie se propuso ampliar en 2006 para abarcar toda la zona que subsiste de humedales en Tláhuac, así como las zonas chinamperas de Tláhuac y Milpa Alta.



Delegación La Magdalena Contreras. Se localiza al surponiente del Distrito Federal. Tiene como perímetro los ejes de las barrancas; la Malinche, Texcatlaco, Honda, la calle Querétaro y la Avenida San Bernabé. Al sur limita con Tlalpan, teniendo como eje la Cañada Viborillas, al este limita con las delegaciones Tlalpan y la Álvaro Obregón y tiene como ejes al Anillo Periférico Sur y en Tlalpan el camino a Santa Teresa, el río Magdalena y el río Eslava. Al sur limita nuevamente con el eje de la Cañada Viborillas. Al este limita con el municipio de Tlanquistenco y en su vértice, con Jalatlaco ambos del Estado de México, teniendo como ejes punto de Cruz de Morillo, el camino al Ajusco y en Jalatlaco tiene como ejes la mojonera Cruz Cuauxupán y el lindero comunal de la Magdalena, así como el lindero de los Montes de San Bartolo Ameyalco, Cabeza de Toro Zacapatongo y la mojonera Texcatitla.

Esta delegación tiene una superficie de 7,580.5 hectáreas, lo que representa el 5.11% con respecto al Distrito Federal, de las cuales 4,397 hectáreas corresponden originalmente a suelo de conservación y 3,183.50 a suelo urbano. La altitud media es de 2,500 metros en suelo urbano y de 3,700 msnm en suelo de conservación, al sur de la delegación.

El clima predominante es el semifrío subhúmedo, con una temperatura media anual que varía de 10°C a 12°C y una precipitación pluvial que va de los 200 a 1,500 milímetros anuales.

La delegación tiene cuatro corrientes de agua superficial importantes; los ríos Magdalena, Chichicapa, las Regaderas y Oxaixtla. Su relieve es variable, desde los 2,500 metros sobre nivel del mar al nororiente de la delegación hasta los 3,700 metros sobre nivel del mar al extremo surponiente, siendo sus principales elevaciones el Parque de los Dínamos y el Cerro del Judío, dentro de Suelo Urbano; los de Sasacapa, Tarumba, Panza y Netzehuiloya como los más importantes dentro del Suelo de Conservación.

El río Magdalena es el único en el Distrito Federal que sigue siendo de agua dulce sin embargo, al introducirse en la zona urbana recibe descargas de varios colectores que encuentra a su paso. El río se encuentra entubado a partir del pueblo de la Magdalena Contreras, con tubería de concreto armado de diámetro variable de 61 a 107 centímetros y descarga a la Presa Anzaldo.

Su cuenca presenta factores elevados de escurrimiento, debido a que gran parte del área se encuentra pavimentada, esto aunado a las fuertes precipitaciones registradas cada año, lo que origina grandes caudales en época de lluvia. El río recibe la aportación del río Eslava una vez rectificado su cauce, incrementando el gasto en más del cien por ciento, lo que origina desbordamientos aguas abajo de la confluencia de ambas corrientes y antes de llegar a la Presa Anzaldo donde finalmente descarga.



El río Eslava nace en la sierra del Ajusco con dirección suroeste-noreste. Se puede considerar prácticamente como el límite de las delegaciones Magdalena Contreras y Tlalpan, inicia en la cota de 2,735 metros sobre nivel del mar y durante su recorrido se aloja en ambas delegaciones, descargando finalmente en la Magdalena Contreras. Es utilizado como cuerpo receptor de las aguas negras de las colonias San Nicolás Totolapan y Lomas de Padierna. Se encuentra entubado a la altura de la colonia la Concepción con tubería de concreto armado de diámetro variable de 45 a 91 centímetros hasta su descarga al Río Magdalena.

Su cuenca inicia a la altura de la colonia Bosques del Pedregal (en la Delegación Tlalpan), recibiendo los escurrimientos de las colonias Pedregal, Chichicapa, Ejidos del Pedregal, Barrio Las Calles y Plazuela del Pedregal. Esta cuenca es de las más extensas, presentando factores de escurrimiento relativamente bajos debido a que gran parte del área no está urbanizada. Este río fue rectificado en su cauce original, desviándolo hacia el río Magdalena.

Otro río importante es el río Coyotes, se le conoce con el nombre de San Jerónimo, se forma al bifurcarse el río Presillas a la altura de la calle Hueyatla que inicia en la cota 2,540 msnm. Su cuenca se encuentra totalmente urbanizada y recibe los escurrimientos principales de las colonias Vista Hermosa y Lomas Quebradas, entre otras. Anteriormente tuvo como punto final de descarga la Presa la Rota, fuera de operación al ser interconectado el río con el sistema de drenaje de la ciudad. Su escurrimiento es similar al de los ríos anteriormente mencionados y presenta escurrimientos de consideración en épocas de lluvias.

En la delegación Magdalena Contreras existen las siguientes barrancas: Texcalatlaco, que además de ser la más grande longitudinalmente es un bordo que divide la delegación Magdalena Contreras de la delegación Álvaro Obregón, también se encuentran las barrancas Coyotes, Teximacoya, Carbonera y Anzaldo. Las barrancas funcionan como cauces de las aguas que afloran de los manantiales y de las aguas pluviales de temporal. La vegetación en ellas favorece la absorción de agua a los mantos freáticos y contribuye a la conservación del suelo, así mismo, evita la erosión por agua y por viento.

En el aspecto geológico existen tres fracturas dentro del área de la delegación, dos de ellas que corren de suroeste a noreste y una en la parte norte de oeste a este. Estas tres fracturas son relativamente cortas y no ofrecen grandes peligros, aunque una de ellas coincide en un área de suelo colapsable pero fuera de suelo urbano.

La flora predominante pertenece al tipo de vegetación de los bosques templados a fríos, donde los elementos fisonómicamente dominantes son las especies de coníferas, tal como el Oyamel (*Abies religiosa*), varias especies de Pino (*Pinus*



spp), y algunas especies de Encino (*Quercus* spp). Estas especies pueden formar bosques casi puros, o pueden mezclarse con otros elementos arbóreos como el Enebro o Táscale (*Juniperus deppeana*), Alie (*Alnus firmifolia*), y el Cedro blanco (*Cupressus lusitanica*), formando bosques mixtos. Asimismo, en el estrato arbustivo es común encontrar especies como el Capulín (*Prunus serotina*) Tepozán (*Buddleia cordata*) y el Tabaquillo (*Nicotiana glauca*), los cuales pueden también asociarse a especies como las del género *Eupatorium*, *Senecio*, *Arctostaphylos*, *Baccharis*, *Salvia* y *Stevia* (Eileen y Álvarez Abies religiosa, Bosque de *Quercus* y Bosque mesófilo de montaña, plantaciones forestales de especies exóticas (producto de programas de reforestación), y zacatonal subalpino con mezcla de matorrales.

Independientemente de su composición, las comunidades más conservadas se localizan en los sistemas de cañada con pendientes pronunciadas, caracterizadas por bosques de encino, pastizales inducidos y ecotono de encino con matorrales secundarios.

Delegación Tláhuac. Ocupa una superficie de 8,534.62 hectáreas (5.75% del Distrito Federal), se ubica en la zona suroriente del Distrito Federal, colindando al norte y noreste con la Delegación de Iztapalapa, desde la Autopista México-Puebla por el parte aguas de la Sierra Santa Catarina, el Panteón San Lorenzo Tezonco, continuando por el Camino la Turba y Avenida Piraña hasta el Canal de Chalco. Al oriente con el Municipio Valle de Chalco Solidaridad, del Estado de México. Al sur con la Delegación Milpa Alta, hasta el vértice del Volcán Teuhtli y al suroeste y oeste con la Delegación Xochimilco.

Con una estructura básica de 7 pueblos, la mancha urbana ha crecido en las tierras ejidales. En los últimos 30 años los Ejidos Zapotitlán y San Francisco Tlaltenco se han fraccionado progresivamente para integrarse al área urbana, que crece desde Iztapalapa (con la Avenida Tláhuac como eje vial).

En cuanto a temperaturas, la mínimas es de 8.3°, media de 15.7° y máxima de 22.8°; por lo que se refiere a su precipitación pluvial (según registros de 1982 a la fecha), la precipitación anual acumulada mínima fue de 365.9 mm. en 1982 y la máxima fue de 728.7mm en 1992. La precipitación pluvial promedio es de 533.8 mm. De junio a agosto se registran las mayores precipitaciones pluviales.

La delegación Tláhuac formó parte de los lagos de Xochimilco y Chalco, que al secarse originaron una superficie de suelo lacustre. Cuenta con tres zonas: plana o lacustre, de transición y de lomas. En la primera predominan depósitos de tobas, limos, arcilla y arenas finas. En la segunda existen pequeños estratos de arcillas, arenas y gravas. En la de lomas hay grava, arenas, bloques, coladas de basalto, lavas y piroclastos.



Dentro de esta delegación, se encuentra la Sierra de Santa Catarina, con alturas de hasta 2,800 msnmm.. Esta sierra es un cinturón volcánico en etapa de elevación reciente. Su estructura geológica propicia una alta permeabilidad, por lo cual es una zona de recarga del acuífero. Las principales elevaciones que se encuentran dentro del territorio delegacional son: Volcán Guadalupe, Volcán Xaltepec, Cerro Tecuautzi y Cerro Tetecón, en la Sierra de Santa Catarina y el Volcán Teuhtli al sur.

Dentro de su territorio de la delegación fluyen cuatro canales, el de Chalco y el Guadalupeño, son importantes para la zona chinampera de la delegación y un atractivo de tipo turístico; los otros dos son el Atecuyuc y el Amecameca. Adicionalmente existen otros canales más pequeños que configuran el sistema de riego de la zona agrícola. En la colindancia con el Estado de México se encuentra una zona de inundación permanente llamada Ciénega de Tláhuac.

Existen pocas zonas boscosas y se detectan extensas áreas de cultivos permanentes, especialmente las zonas este y sur, donde se cultivan de forma cíclica; maíz, espinaca, romerito y acelga, y en forma perenne: alfalfa, peral, higo y nogal, entre otras.

La flora es abundante, variada y corresponde al tipo de vegetación de pradera. Se conforma sobre todo por; ahuejotes, árboles típicos de la región y sembrados en los márgenes de las chinampas. A la orilla de los canales se pueden encontrar ailes, casuarina, sauce llorón, alcanfor y eucalipto, mientras que en la superficie del agua existe una gran cantidad de flora acuática.

Otra vegetación importante es la acuática principalmente; el lirio acuático, el chichicastle y la ninfa. Aunque está reducida a los bordes de los canales, particularmente a los canales principales y está representada por las hidrófilas libremente flotantes que resisten condiciones extremas de contaminación y/o perturbación, como el huachinango (*Eichhornia crassipes*), el amocillo o tepalcate (*Hydromystria laevigata*) y el chichicastle (*Lemna gibba*).

La vegetación de la zona de transición o de pie de monte, está conformada por una serie de comunidades entre las que sobresalen las del palo loco (*Senecio praecox*), nopales diversos (*Opuntia sp.*), magueyes (*Agave sp.*), jarillas (*Senecio sp.*), montanoa (*Montanoa tomentosa*), retama (*Cassia laevigata*), verbesina (*Verbesina virgata*); en el estrato inferior tenemos (*Muhlenbergia robusta*, *Andropogon sp.*, *Bouteloua gracilis* y *Panicum sp.*), son abundantes las poblaciones de pirul (*Schinus molle*), eucalipto (*Eucalyptus sp.*), y casuarinas (*Casuarina equisetifolia*).

En las partes elevadas hay pequeñas zonas boscosas, en las que prevalecen árboles como el pino, ocote, madroño, cedro, ahuehuete y tepozán. En los



pequeños cerros, prevalecen; el capulín, eucalipto, alcanfor, jacarilla, pirúl y chicalote. Además, nopales, magueyes y cabellos de ángel.

En la delegación se presenta una extensa zona con erosión hídrica, localizada en el centro-este y sureste de la jurisdicción, debido principalmente a la existencia de actividades urbanas, agrícolas, pecuarias y forestales, así como a fenómenos naturales. Esto ha ocasionado la pérdida de la cubierta vegetal, lo que en consecuencia ha degradado el suelo, afectando directamente el régimen hidrológico y provocando problemas en la salud humana por la formación de tolvaneras.

3.2. Caracterización funcional

El sistema hidrológico del Distrito Federal ha sido afectado en el tiempo por los cambios continuos del uso del suelo. Las modificaciones en el patrón de escurrimientos superficiales, las tasas de infiltración y precolación, han sido minimizadas y transformadas, de tal forma que en eventos de lluvia fuertes, las tasas de escurrimiento serán más grandes y de gran velocidad, y por otro lado las capacidades del suelo desnudo o con vegetación se saturaran de forma inmediata, esto convierte las zonas de barrancas en áreas vulnerables de derrumbes y deslaves, así mismo los excedentes en los escurrimientos se depositaran irremediablemente en las zonas bajas (áreas muy urbanizadas), trayendo problemáticas de azolves e inundaciones cada vez de mayor intensidad.

El sistema de barrancas de la zona poniente de la ciudad de México, en su mayoría pertenece a cuatro cuencas con distintas características. Estas cuencas producen escurrimientos muy importantes, susceptibles a crear problemas de avenidas aguas abajo. Estas cuencas son de los ríos Magdalena, Mixcoac, San Ángel Inn y Puerta Grande, conocidas como Cuencas del Poniente, y forman parte de la zona poniente del Valle de México que está caracterizada por fuertes lluvias estacionales y una cobertura vegetal importante.

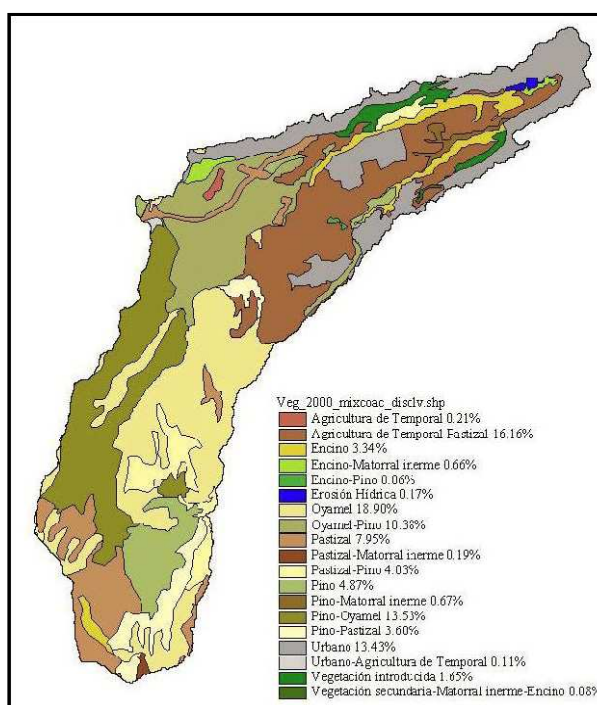
Las barrancas del poniente de la Ciudad se localizan en la Sierra de las Cruces. Las características principales de las cuatro cuencas, desde el punto de vista fisiográfico, son:

Cuencas	Área total	Longitud del cauce	Pendiente del cauce	Tiempo de concentración	Tiempo de retraso
	[km ²]	[km]	[°]	[h]	[h]
Mixcoac	32.15	15.59	0.075	1.49	0.89
Magdalena	28.95	14.27	0.077	1.38	0.83
Puerta Grande	2.29	3.99	0.047	0.63	0.38
San Angel Inn	11.35	8.39	0.100	0.83	0.50

Tabla 1. Características fisiográficas (SACM, 2004)

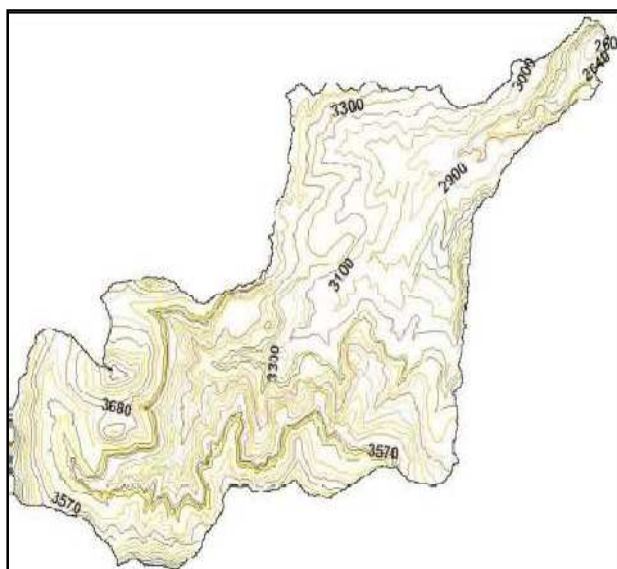
La cuenca del río Mixcoac empieza en la parte alta del Parque Nacional Desierto de los Leones. Con el paso de los años, la parte más baja de la cuenca se ha ido poblando de forma intensa en los alrededores de la estación hidrométrica. La cuenca presenta una elevación de 2400 msnmm a la salida y de 3800 msnmm en su parte más alta. La cuenca Mixcoac está constituida principalmente por roca ígnea extrusiva y por toba y la edafología de la cuenca está caracterizada por la presencia de Feozem y Andosol. El uso del suelo en la cuenca es casi completamente rural y dominan los pastizales y bosques de especies altas.

Figura 2. Uso de suelo la cuenca Mixcoac (SACM, 2004)



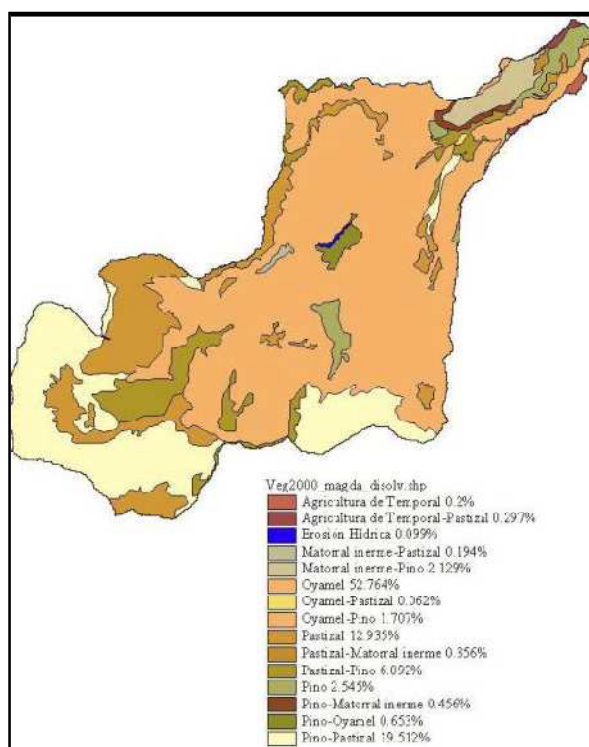
La cuenca del río Magdalena está en buen estado natural, se encuentra en el interior del Parque Nacional de Los Dínamos en la delegación Magdalena Contreras. El río Magdalena nace en la parte oriental de la sierra del Ajusco y presenta una pendiente importante y una cobertura vegetal abundante. La cuenca presenta una elevación de 2600 msnmm a la salida y de 3800 msnmm en su parte más alta.

Figura 3. Topografía de la
cuenca del río Magdalena
(SACM, 2004)



La cuenca del río Magdalena está constituida casi totalmente por roca ígnea extrusiva. En la figura se presenta la geología de la cuenca del río Magdalena. La mayor parte del suelo está constituido por Andosol. El uso de suelo es sobre todo de pastizales y bosques de especies altas.

Figura 4. Usos de suelo de la
cuenca del río Magdalena
(SACM, 2004)



La cuenca de Puerta Grande es la que más pequeña de las cuencas consideradas para este estudio. Está casi completamente urbanizada y recibe agua de la cuenca de Tequilasco. En la siguiente figura se presenta la línea de parteaguas de la cuenca de Puerta Grande y la red de drenaje definida por el río Puerta Grande.

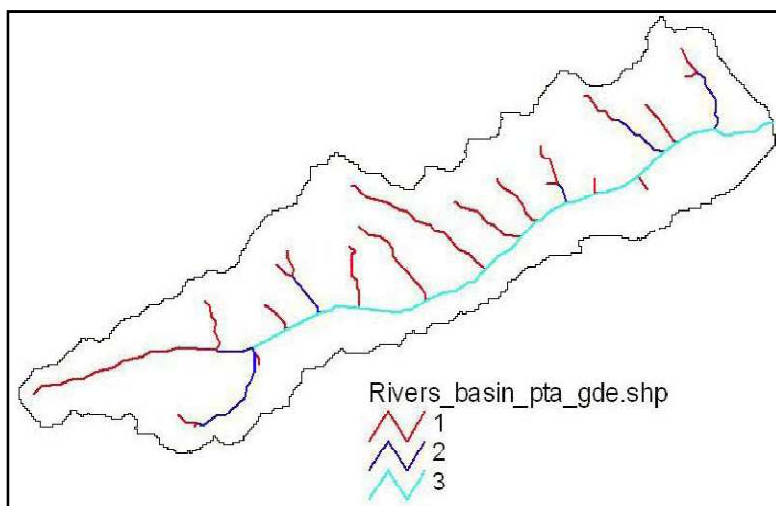


Figura 5. Parteaguas de la cuenca Puerta Grande.(SACM, 2004)

La cuenca Puerta Grande presenta una elevación de 2400 msnmm a la salida y de 2600 msnmm en su parte más alta. Toda la cuenca Puerta Grande está formada por roca volcánica tipo toba. La cuenca está formada sobre todo por Feozem y Litosol. La cuenca Puerta Grande está casi totalmente urbanizada.

La cuenca de San Ángel tiene pocos rasgos que la distingan. En la figura se presentan el parteaguas de la cuenca San Ángel Inn y su red de drenaje.

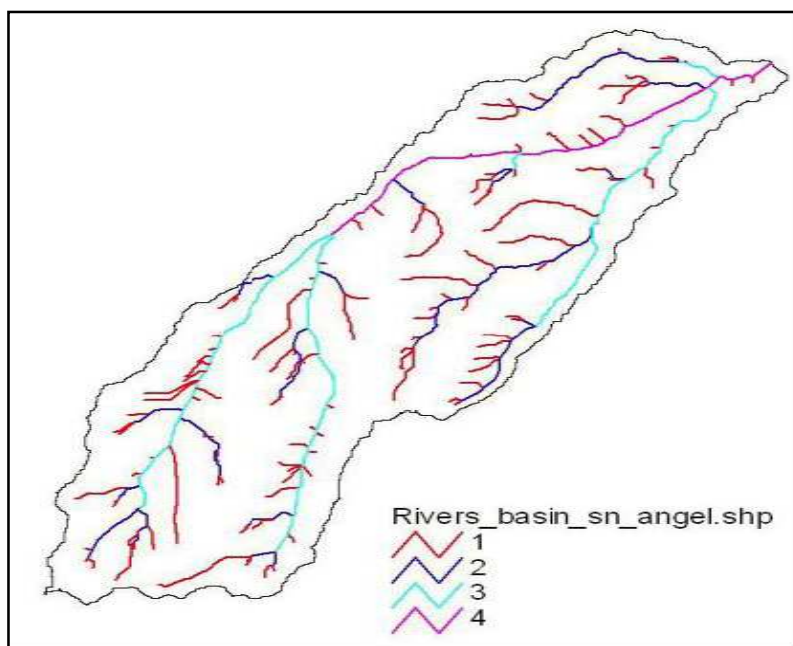


Figura 6. Parteaguas de la cuenca San Ángel Inn (SACM, 2004)

La cuenca San Ángel Inn está formada por roca ígnea extrusiva y por roca volcánica tipo toba. La cuenca presenta una distribución de suelos principalmente de Feozem y Andosol. La cuenca San Ángel Inn está parcialmente urbanizada y la parte rural está ocupada principalmente por bosques y agricultura.

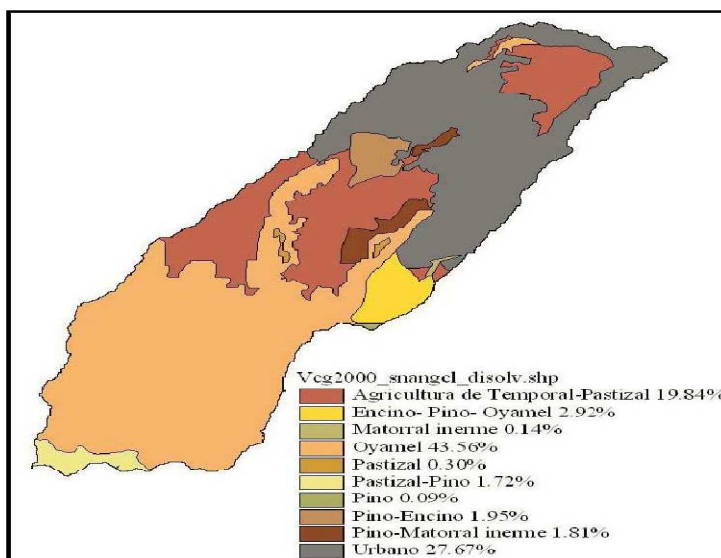


Figura 7. Parteaguas de la cuenca San Angel Inn (SACM, 2004)

Por otra parte, el suelo de la zona sur del D.F., contiene 15 tipos distintos de suelo, donde destacan el Andosol Húmico, el Litosol y el Feozem Háplico que abarcan 81% del área. El Andosol Húmico ocupa 32% del territorio y se localiza en las delegaciones Alvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco; el Litosol ocupa 26% del entorno y se distribuye en las delegaciones Alvaro Obregón, Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta; el Feozem Háplico cubre 24% del suelo de conservación y se reparte en todas las delegaciones.

Respecto de la vegetación, esta se localiza sobre dos regiones ambientales bien definidas, que corresponden a los dos sistemas terrestres: (1) Sierra de las Cruces, la cual presenta suelos desarrollados y clima subhúmedo, y (2) Sierra Chichinautzin con suelos escasamente desarrollados y condiciones más secas. Estas dos estructuras tectovolcánicas se caracterizan por que la cobertura del suelo es muy compleja, ya que presentan seis tipos de vegetación distribuidos a lo largo de un gradiente altitudinal y climático. El bosque de oyamel, que ocupa la mayor superficie, siguiéndole en orden de importancia el área agrícola-pastizal-urbano, el bosque de pino, el bosque de encino y el matorral (GDF, 2002).



4. PROCESO METODOLOGICO PARA EL ANÁLISIS DE LOS INDICES DE EXPANSIÓN URBANA Y TRANSFORMACIÓN DEL CAPITAL HIDRÓLOGICO-FORESTAL

El ecosistema urbano de la Región Sur de la Ciudad de México es un sistema complejo que involucra numerosos componentes del medio natural, tales como aire, suelo, agua y recursos naturales; pero también variables del complejo urbano: contexto demográfico, social y económico. Todos estos componentes son interdependientes entre sí; por tanto, la forma de abordarlo requiere considerar al ecosistema urbano como un sistema, componentes y relaciones, cuya complejidad exige por un lado, considerar el sistema en todas sus dimensiones; y por otro lado tener una visión analítica de cada componente del ecosistema urbano, que considere los usos y su expresión espacial. Sin dejar de tener siempre una visión integral, que tome en cuenta la acción cotidiana de las comunidades rurales o urbanas y las formas como se relacionan con su ambiente.

En este marco, el análisis de la transformación, que ha cambiado de un paisaje natural o rural a un paisaje meramente urbano, se trata esencialmente de una comparación espacial de dos o más coberturas, en este caso de vegetación y uso del suelo, considerando las áreas urbanas y de bosques, como tipos de uso, cuya definición se hará de acuerdo al grado de urbanización o transformación de las áreas forestales y el contexto en que se encuentre.

Las coberturas de la tierra, se consideran factores formadores del paisaje en una misma área geográfica generadas a partir de datos de percepción remota adquiridos en diferentes épocas. Esta herramienta ha sido ampliamente aplicada en estudios de transformación del paisaje a través del análisis espacial con el uso de modelos geomáticos.

Para este estudio se utilizaron imágenes de LANDSAT y SPOT ya que, diversos sensores son aceptables siempre y cuando su resolución espacial no varíe mucho, como es en este caso.

Dentro de este contexto el análisis de la transformación del paisaje en la región sur, es esencialmente una comparación espacial de dos o más coberturas y usos del suelo, considerando las áreas urbanas como un tipo de uso. Para este fin se desarrolló un modelo de análisis basado en el análisis de cambio en tres años diferentes (2000, 2006 y 2009 ó 2010). El modelo de análisis se centra esencialmente en una comparación espacial de las coberturas las cuales son factores formadores del paisaje en una misma área geográfica, generadas a partir de datos de percepción remota adquiridos en diferentes épocas.

Para el análisis de cambios se utilizó información existente (cartografía del año 2000) y la interpretación y procesamiento de imágenes del satélite LANDSAT del año 2000 e imágenes SPOT de los años 2006 y 2010. De igual manera se desarrolló un modelo cartográfico para la definición de unidades de paisaje a través de las cuales se establecieron los cambios en la expansión urbana, así como los índices de transformación del capital forestal e hídrico del área de estudio. El esquema metodológico general, se presenta en la figura 8.

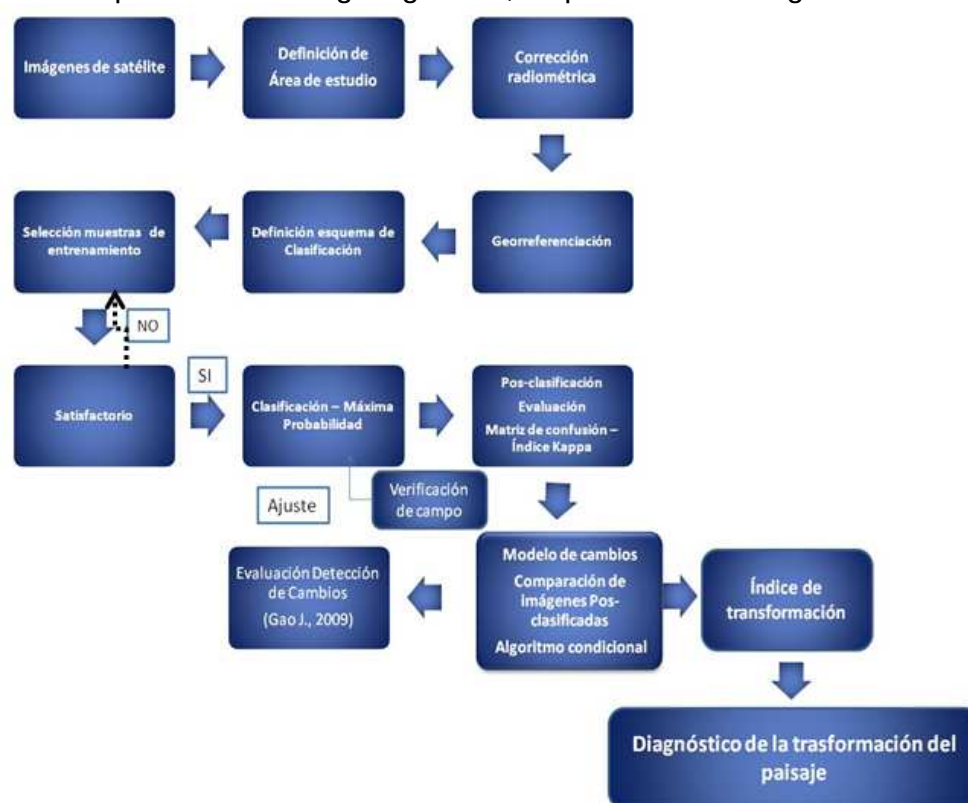


Figura 8. Esquema metodológico para el análisis de cambio de uso del suelo. (López L. D. y Alviar M. L., adaptado y modificado de Gao J. 2009).

Definición y ajuste de la cobertura de referencia año 2000. Uno de los aspectos fundamentales de los análisis de cambio de uso del suelo, es contar con datos y/o información consistente y de buena calidad, lo cual determinará en ultimas la calidad y consistencia de los análisis y resultados finales a obtener. En este sentido es de vital importancia definir y ajustar los datos o información de referencia, tan bien como se pueda, a las condiciones reales del área de estudio en la fecha de referencia de los análisis, que en este caso es el año 2000. Para este fin se tomo como referencia el mapa de cobertura y uso del suelo del año



2000 del área del suelo de conservación (Secretaría de Medio Ambiente del D.F., 2000), las imágenes LANDSAT TM de ese mismo año y fotografías aéreas.

Con el fin de completar la información del uso y cobertura del año 2000 en toda el área de estudio y a su vez detallar las áreas urbanas, se llevo a cabo un proceso de clasificación de las imágenes. Dadas las características de resolución espacial de estas imágenes, se hizo necesario ajustar dicha información, para lo cual se utilizaron una imagen LANDSAT del año 2000 y fotografías aéreas (año 1999), que han sido escaneadas a una resolución de 2 metros aproximadamente.

Se georeferenciaron las fotografías aéreas, tomando como referencia los mosaicos orto-rectificados de Quick Bird y un modelo digital de elevaciones. Se elaboró un mosaico de fotografías aéreas 1999, las cuales tienen la ventaja de presentar una muy buena resolución espacial, aunque su resolución espectral es muy baja (una sola banda), además las características de iluminación no son homogéneas. En este caso se aplicó un balance de las tonalidades de grises mediante la ecualización del histograma y la técnica "Image Dodging". En esta última técnica se calcularon las estadísticas para las imágenes y luego se aplicó una corrección estadística a la intensidad de cada pixel en cada una de las imágenes. Para las áreas de traslape se consideró un ajuste tipo "feather", en el cual el área de traslape se reemplaza por una interpolación lineal de los pixeles en el traslape (ERDAS-Help, 2010).

Fusión de Imágenes. La fusión de datos es un proceso relacionado con datos e información de múltiples fuentes para obtener información refinada/mejorada para la toma de decisiones (Hall, 1992). La fusión de imágenes es la combinación de dos o más imágenes diferentes para formar una nueva imagen, mediante el uso de un algoritmo. La fusión facilita la integración de datos disímiles y complementarios para mejorar la información en las imágenes, así como incrementar la confiabilidad de la interpretación; se obtienen datos más exactos y se incrementa la utilidad. La fusión provee un funcionamiento operacional más robusto, incrementa la confianza, reduce la ambigüedad, mejora la confiabilidad y la clasificación (Shen, S. S., 1990). En este caso se utilizó una aproximación de fusión a nivel del pixel. Se utilizó el algoritmo denominado "Transformada de Brovey", que es una técnica de fusión basada en métodos numéricos; se usa un algoritmo basado en cocientes para combinar las imágenes. Mediante esta técnica se fusionaron la imagen Landsat-TM y el mosaico de fotografías aéreas, lo cual permitió obtener un producto mejorado espectralmente y espacialmente, que diferencia las coberturas no urbanas (coberturas vegetales) y ajusta la información pertinente a las aéreas urbanas y urbanizadas.

Análisis de texturas. La clase correspondiente a zonas urbanizadas es la que tiene una mayor dificultad para ser caracterizada por medio de la clasificación multiespectral, confundándose por exceso con las zonas de cultivos. Por esta

razón, se hace necesario complementar la información espectral con la relativa a la distribución espacial de los distintos niveles de gris, es decir, la textura; este análisis suministra información sobre la distribución de niveles de intensidad en el vecindario de un píxel, por lo que su estudio sobre imágenes pancromáticas de alta resolución, (que en este caso corresponden a las fotografías aéreas) puede resolver el problema de la identificación de los rasgos urbanos, los cuales son espectralmente heterogéneos, como ocurre con las urbanizaciones en las que se combinan edificaciones y zonas ajardinadas (Plata R. W., Gómez D. M., Bosque S. J. 2009). Las características o bandas de textura extraídas de la matriz de coocurrencias de niveles de gris fueron la varianza y la disimilaridad. Para el análisis de vecindad se utilizó una matriz de 7x7.

Clasificación. A partir de las imágenes multiespectrales del sensor TM de Landsat del año 2000 se realizó un proceso de clasificación espectral para separar las categorías de coberturas. Se empleó un clasificador de máxima probabilidad a partir de una serie de muestras de aprendizaje obtenidas sobre diversas combinaciones espectrales y con la ayuda de la interpretación visual de la ortofotografía (figura 9).



Figura 9. Diagrama de flujo metodológico para la clasificación supervisada.

De acuerdo a la definición de estas categorías y basándose en la información existente, se llevó a cabo un análisis visual de la imagen y de las fotografías aéreas, con el fin de tomar las muestras de entrenamiento correspondientes a las clases de cobertura antes mencionadas. Para evaluar el grado de separabilidad



(o pureza) de las muestras se utilizaron dos parámetros, la matriz de contingencia y el medidor de distancia Jefferies-Matusita. Con el primer parámetro se evaluó la pureza de las muestras mediante una clasificación rápida de los píxeles en un conjunto de muestras de entrenamiento, para ver qué porcentaje de los píxeles muestra son realmente clasificados como se espera; estos porcentajes son presentados en una matriz; en este caso se consideró una muestra satisfactoria cuando el porcentaje estaba por encima del 90%. El medidor de distancia Jefferies-Matusita permitió computar la distancia estadística entre las muestras, esta distancia se usa para determinar que tan distinta es una muestra de la otra. En el caso de este medidor una muestra pura tendrá una distancia espectral ENTRE 0 y 1414, se consideraron muestras satisfactorias cuando su distancia espectral era mayor de 1300 a 1350.

Se clasificaron los imágenes mediante un clasificador de máxima probabilidad a partir de las muestras de aprendizaje obtenidas sobre diversas combinaciones espectrales y con la ayuda de la interpretación visual de la ortofotografía de un metro de resolución espacial.

Por otra parte, partir de las imágenes de textura calculadas para las fotografías aéreas se hizo una clasificación para cartografiar las zonas urbanizadas, las cuales son muy pobremente definidas en la clasificación espectral. Esta clasificación se combinó con la anterior mediante un modelo de decisión, para así obtener una clasificación final de mayor detalle, especialmente en la categoría de uso del suelo, del año 2000.

Definición de las categorías de cobertura. Las categorías que se consideraron para las clasificaciones de los tres años, a partir de un análisis previo de las imágenes multiespectrales y de las ortofotografías de la zona, son: bosques, matorrales, pastizales, agricultura, zonas urbanas, cuerpos de agua, y minas (Tabla 2).

Categoría	Descripción
Bosques	Está compuesta por aquella cobertura vegetal tipo bosque: Bosques de Oyamel, Pino y Encino. En esta categoría se incluyen dos clases de bosques a saber: a) Bosque cerrado: la mayoría de las copas de los árboles se hallan en contacto o entrecruzadas, y forman un dosel cerrado, y b) Bosque abierto: la mayoría de las copas de los árboles no se hallan en contacto (S. A. Stupino, M. F. Arturi & J. L. Frangi, 2004).
Matorrales	Asociación de cobertura vegetal de matorral, es una categoría que involucra a diferentes asociaciones en su mayoría de tipo xerófilo. En general presentan un dosel menos cerrado y con menor altura que los bosques.
Pastizales	Esta categoría agrupa a diferentes tipos de asociaciones que poseen una estructura herbácea, constituida fundamentalmente por gramíneas y se desarrollan en diferentes condiciones.
Agricultura	En esta categoría se consideran todas las aéreas dedicadas a la



	actividad agrícola, constituida por: cultivos cíclicos (o agricultura de temporal) y cultivos perennes.
Zonas Urbanas	En esta categoría se consideran todas las áreas que están construidas entre un 80% y 100% del total de la unidad cartográfica mínima (0.5 has). Se incluyen algunas áreas que pueden presentar una densidad de construcción baja, pero que por su contexto espacial se les ha clasificado como urbanas, siendo este el uso dominante.
Cuerpos de agua	Cobertura de agua, lagos
Minas	Áreas de extracción de material para la construcción, principalmente.

Tabla 2. Categorías de cobertura consideradas en el área de estudio.

Procesamiento de imágenes SPOT (2006 y 2010). Con el fin de obtener la información necesaria en los cambios de uso, se llevo a cabo el procesamiento de imágenes SPOT de los años 2006 y 2010. Debido a que el área de estudio se encuentra distribuida en 3 imágenes de fecha 2006 y cuatro imágenes de fecha 2009 y 2010, se procedió a elaborar los mosaicos correspondientes. En el caso de las imágenes 2009-2010, primero se elaboró un mosaico por cada año, por la similitud en las condiciones de iluminación, lo que permite un mejor ajuste de los niveles de brillo. Para lograr un balance adecuado en el nivel de brillo de píxeles entre las imágenes se aplicó un balance de las tonalidades de grises mediante la ecualización del histograma, y la técnica "Image Dodging". En este último caso se calculan las estadísticas para las imágenes y luego se aplica una corrección estadística a la intensidad de cada píxel en cada una de las imágenes.

De igual manera que con las imágenes LANDSAT del 2000, en este caso se procedió a realizar el análisis de texturas.

Evaluación de muestras de entrenamiento. El proceso de clasificación de las imágenes se llevó a cabo de una manera iterativa, dada la complejidad de las coberturas a clasificar, lo cual está determinado en parte por la inclusión de aéreas urbanas y rurales, donde particularmente las primeras presentan una gran complejidad en la respuesta radiométrica, lo cual hace difícil su clasificación. Por lo anterior se procedió a tomar gran número de muestras de entrenamiento de tal manera que representaran el total de las coberturas a clasificar con sus variaciones. Las muestras se fueron agrupando, hasta que en la etapa final se reducen a ocho que corresponden al número de clases especificadas para el presente estudio. Al igual que en el procedimiento con las imágenes LANDSAT, se evaluó el grado de separabilidad (o pureza) de las muestras con dos parámetros, la matriz de contingencia y el medidor de distancia Jefferies-Matusita.

Evaluación de la clasificación. Las imágenes clasificadas se evaluaron mediante la matriz de confusión, que es una forma estándar para reportar errores de



clasificación, y el índice Kappa. Además de la exactitud total de la clasificación se reportan dos tipos de errores, la exactitud del productor, que es la probabilidad de error en la que se incurre como consecuencia de la no incorporación de algunos pixeles en la clase correspondiente, también se denomina error por omisión. El otro error se refiere a la exactitud de los usuarios que se refiere al error que se asume cuando se clasifica un pixel en una clase a la que no pertenece, se le denomina error de comisión. Para la evaluación se tomaron de manera aleatoria y automática puntos de muestreo; para la validación de estos puntos se tomo como referencia en el año 2006 la información existente sobre vegetación y uso del suelo del año 2005, además del criterio del analista. En el caso de la clasificación del año 2010 se hace una evaluación preliminar con base en el criterio de analista, de la información del año 2005. En el caso de esta evaluación tendrá que ser verificada con el trabajo de campo, donde se coleccionarán puntos de referencia para su validación. Como proceso de postclasificación se corrió un algoritmo de cúmulos, el cual permitió luego eliminar las áreas más pequeñas que 0.5 hectáreas. Aunque los estándares de área mínima de mapeo correspondientes a la escala 1:50,000 son mucho mayores se prefirió dejar esta área, para que los cambios en la expansión urbana puedan ser detectados. En el Anexo 2, se presentan los reportes de evaluación para las dos imágenes, años 2006 y 2010.

Trabajo de campo. Continuando metodológicamente con el proceso de Pos-Clasificación, el cual contempla la verificación de campo como parte del proceso de filtrado de imágenes y cuyos resultados representan parte de la validación y verificación de los resultados obtenidos en la clasificación misma. El proceso de comprobación está condicionado únicamente a aquellas áreas que ameritan dicha comprobación, basada particularmente en las respuestas espectrales similares que algunas coberturas presentan y que en el procesos mismo de clasificación y evaluación tienen la tendencia de dar la misma o muy similar respuesta espectral debido a la fisionomía y el estado fenológico de las coberturas vegetales. Se definieron las áreas de mayores cambios y de acuerdo a la evaluación de la clasificación se seleccionaron los distintos puntos de observación sobre algunas coberturas naturales. Se recorrieron algunos lugares de las delegaciones de Milpa Alta, Tlalpan, Tlahuac y Xochimilco principalmente, con el fin de hacer la comprobación y el ajuste de las coberturas ya clasificadas (Anexo 1).

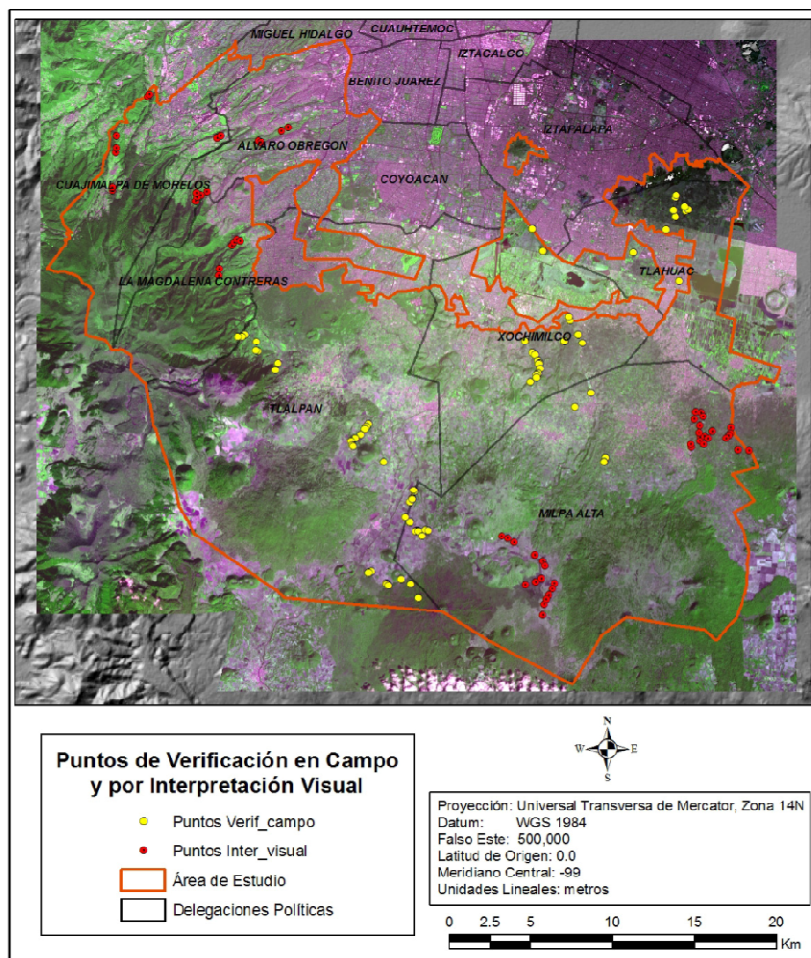


Figura 10. Puntos de verificación en campo.

Elaboración de cartografía uso del suelo y vegetación. Para el desarrollo de la cartografía de diagnóstico se utilizaron los resultados de las imágenes y el trabajo de campo correspondiente para su corroboración. De esta etapa obtuvo la cartografía, los datos estadísticos y la información de cambios en la cobertura, necesaria para el análisis de la transformación en el capital forestal e hídrico de la zona.

Evaluación de la detección de cambios. Es importante realizar una evaluación de la exactitud del análisis del cambio para asegurar la calidad y determinar qué método de análisis del cambio es el más exacto. En este caso la exactitud se evaluó con un método basado en la exactitud de la clasificación de imágenes, en el que se usan clases individuales sobre la base de la teoría de propagación del error. La exactitud se calcula con la siguiente fórmula:

$$A_j = 100 - \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} (100 - A_i)^2}$$

Donde,

A_j = la exactitud de la detección de cambio de la cobertura "j"

A_i = la exactitud de la clase de cobertura (expresada en porcentaje)

S_i = el área de la clase "i"

n = Número total de clases de cobertura a partir de la cual la cobertura "j" ha cambiado.

Unidades básicas de análisis hidro-ecológicas. El paisaje debe entenderse como un sistema caracterizado por una serie de atributos interdependientes que incluyen componentes abióticos, bióticos y antrópicos. De acuerdo con lo anterior, las unidades de paisaje o unidades hidro-ecológicas serán las subunidades que representan la dimensión ecológica, y a través de la cual se representan las transformaciones del capital hidrológico- forestal de la región (figura 11).

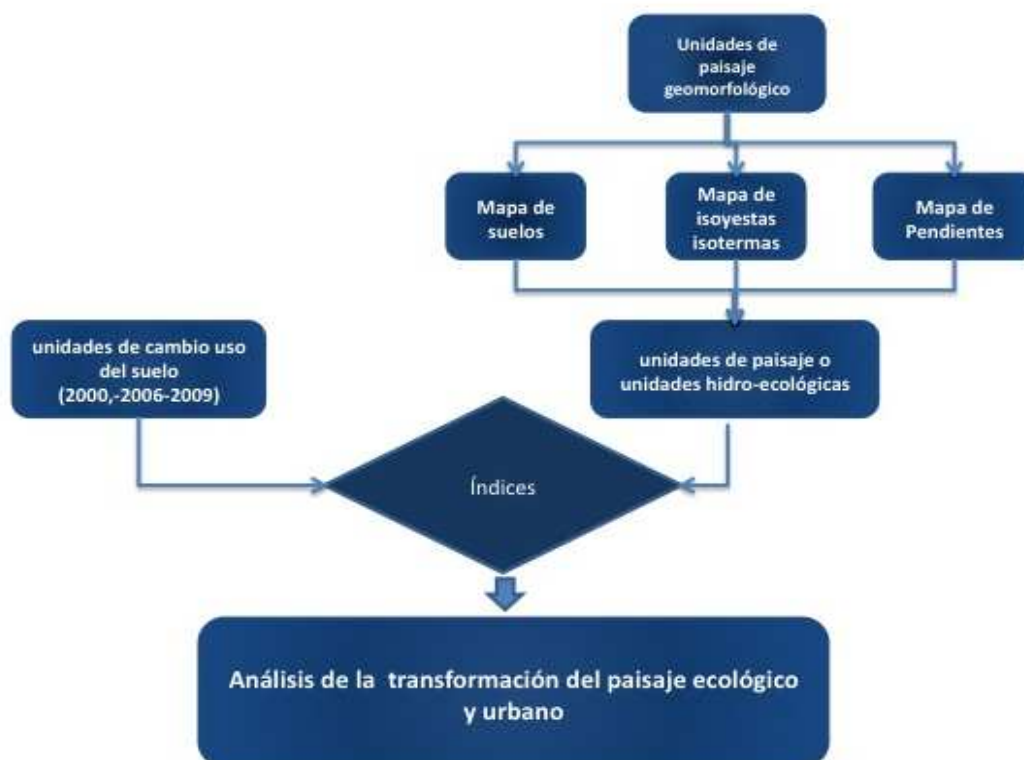


Figura 11. Esquema metodológico. Fase final.



La base para la construcción de estas unidades la constituyen las unidades de paisaje, que son unidades homogéneas definidas por la integración de características geológicas, geomorfológicas, clima, suelos y vegetación. Estas unidades se integraron con las unidades correspondientes a las cuencas hidrográficas, definidas estas por la dirección de los escurrimientos, las cuales se calcularon a partir de un modelo digital de elevaciones. Las unidades finales se clasificaron de acuerdo a su comportamiento en relación a los procesos de escurrimiento-infiltración, características estas determinantes de la capacidad de recarga del acuífero.

Con el fin de contar con toda la información necesaria para definir las unidades hidro-ecológicas de la zona de estudio, se llevo a cabo la elaboración de un mapa geomorfológico a través de la actualización de un mapa elaborado para el “Estudio de integración de un sistema de pagos por servicios ambientales mediante su articulación con una estrategia de captura de carbono en las zonas del suelo de conservación del Distrito Federal” (Secretaría de Medio Ambiente del D.F., 2002) y la interpretación visual de imágenes SPOT del año 2010.

Una vez realizada la clasificación, en la que se consiguió discriminar los principales tipos de ocupación del espacio, se realizó un análisis sobre las diferencias en las configuraciones de las unidades espaciales mediante un análisis de la estructura del paisaje. Para ello se utilizaron conceptos y métodos provenientes de los estudios de ecología del paisaje y se utilizaron las unidades de paisaje o unidades hidro-ecológicas.

Con el fin de establecer las transformaciones al capital hidrológico-forestal se aplicó un modelo de análisis espacial que permitió calcular los dos principales procesos de cambio relacionado a la transformación del capital hidrológico, como son la infiltración y el escurrimiento, en función de los cambios de uso de suelo.

Para el calculo del escurrimiento se utilizo el método de la curva

Ves= $C * A * P_m * 10$ donde:

Donde Ves=Volumen medio escurrido(m³), A= Área de la microcuenca (ha), C=Coeficiente de escurrimiento (adimensional) P_m=Precipitación media anual (mm) y 10 factor de conversión a m³.

C es el coeficiente de escurrimiento por paisaje se obtuvo de la tabla 3 en función de texturas vegetación y pendientes de cada paisaje, determinando el área parcial de cada uno sobre la microcuenca y calculando su promedio pondera para finalmente utilizar ese valor en la ecuación.

Uso del suelo y pendiente	Texturas del suelo		
	Gruesa	Media	Fina
Bosque y Matorrales			
Pendientes de 0-5%	0.10	0.30	0.40
Pendientes de 5-10%	0.25	0.35	0.50
Pendientes de > 10%	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Pendientes de 0-5%	0.10	0.30	0.40
Pendientes de 5-10%	0.16	0.36	0.55
Pendientes de > 10%	0.22	0.42	0.60
Agricultura			
Pendientes de 0-5%	0.30	0.50	0.60
Pendientes de 5-10%	0.40	0.60	0.70
Pendientes de > 10%	0.52	0.72	0.82
Zonas urbanas			
Pendientes de 0-10%	0.40	0.55	0.65
Pendientes > 10%	0.50	0.65	0.80

Tabla 3. Valores del coeficiente C de la escorrentía (de Schwab *et al.* 1981).

La infiltración se calcula por unidad de paisaje y cuenca, a través de la siguiente fórmula:

$$I = BC \cdot K_i$$

Donde: $BC = a$ (Precipitación media anual -ETP media anual)

Se calculó utilizando el método de evapotranspiración potencial de Thornthwaite,

$$ETP = 16 \times (10 T / I)^a$$

I = índice de calor anual = suma de los 12 valores del índice de calor mensual (i).

Donde: $i = (T / 5)$ elevado a 1,514 T = temperatura media mensual en grados C.
 a = función del índice de calor anual (I), que simplificado equivale a 0,016 elevado a 0,5

a se calcula como: $a = 0,000000675 \times I$ elevado a 3 - $0,0000771 \times I$ elevado a 2 + $0,01792 \times I + 0,49239$

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado se corrigió la ETP mediante un coeficiente que tiene en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para lo cual se introdujo el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que multiplicó a la ETP para obtener la ETP según Thornthwaite (mm/mes) final.

$$\text{ETP (corregida)} = \text{ETP} \times L \text{ (mm/mes)}$$

ETP : evapotranspiración mensual en mm

L : factor de corrección del número de días del mes (Ndi) y la duración astronómica del día Ni -horas de sol-:

$$L_i = N_{di}/30 \times N_i/12 \text{ (Tablas de L mensuales por latitud)}$$

Ki es el coeficiente de infiltración el cual se calcula con base en los coeficientes de suelo (Kfc), vegetación (Kv) y pendiente Kp donde:

$$K_i = (K_v + K_p + K_{fc})$$

Donde: Ki: Coeficiente de infiltración es igual a

Kfc: Factor de infiltración por efecto del suelo

Kp: Factor de infiltración por efecto de la pendiente

Kv: Factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal.

Los valores del factor de infiltración por efecto de la pendiente (Kp) (tabla 4), el suelo (Kfc) (tabla 5) y el factor de infiltración por efecto de la cobertura vegetal (Kv) (tabla 6) propuestos por Schosinsky (2007), se presentan a continuación:

Pendiente	Kp
0-3%	0.40
3-12%	0.15
12-25%	0.10
25-50%	0.07
>50%	0.025

Tabla 4. Valores de Infiltración básica por efecto de la pendiente (Kp) Fuente: Schosinsky, (2007).

Suelo	Kfc
Texturas gruesas a media	0.20
Texturas medias a finas	0.15
Texturas finas	0.10

Tabla 5. Valores Infiltración básica por efecto del suelo (Kfc) Fuente: Schosinsky, (2007).

Cobertura	Kv
Bosques y matorrales	0.20
Pastizales	0.18
Agricultura	0.10
Zonas Urbanas	0.05

Tabla 6. Valores Infiltración básica por efecto de la cobertura (Kv) Fuente: Schosinsky, (2007).

El escurrimiento y la infiltración se calcularon para los tres años de cambio de uso del suelo 2000, 2006 y 2010.

Para el análisis e interpretación de la estructura del paisaje definido por la clase de zonas urbanas, se calculó la tasa de cambio para cada una de las zonas en las que quedó dividida la superficie urbana. Por otra parte, se calculó un índice de fragmentación de los paisajes urbanos, los cuales reflejan la estructura del paisaje a través de propiedades estructurales básicas, como es el tamaño medido a partir del número de manchas y su área.

Índice de estimación de variación. Se utiliza el índice de base cien para hacer una estimación de la evolución de la escurrimiento y la infiltración, tomando como base de referencia el valor del indicador de sus volúmenes en el año 2000, permitiendo de esta forma tener un valor que permite realizar comparaciones de los cambios de estos, en los períodos 2000, 2006 y 2010 en diferentes unidades espaciales.

La fórmula utilizada para su estimación es:

$$I_{es2010-2000} = V_{es2010} / V_{es2000} * 100$$

Donde,



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

$I_{es2010-2000}$ es el índice de escorrentía en el año 2010, con base 2000

V_{es2010} es el valor de la escorrentía en el año 2010

V_{es2000} es el valor de la escorrentía en el año 2000

Para el caso de la infiltración, el índice se estima de forma similar:

$$I_{inf2010-2000} = V_{inf2010} / V_{inf2000} * 100$$

Donde,

$I_{inf2010-2000}$ es el índice de escorrentía en el año 2010, con base 2000

$V_{inf2010}$ es el valor de la escorrentía en el año 2010

$V_{inf2000}$ es el valor de la escorrentía en el año 2000

El índice de expansión urbana se calculó construyendo un Índice Base 100, tomando como año base el 2000 y su comparación con los años 2006 y 2010. El índice de expansión fue calculado y modificado para los fines del estudio.

$$\text{Índice de Expansión Urbana} = \text{área urbana}_{Tn} / \text{área urbana}_{2000} * 100$$

Donde: Tn es el año de comparación (2006 y 2010).



5. ANÁLISIS DE ÍNDICES DE EXPANSIÓN URBANA Y TRANSFORMACIONES AL CAPITAL HIDROLÓGICO-FORESTAL

5.1. Análisis de cambios en la cobertura y el uso del suelo

La cuenca de México representa un sistema hidrológico que, a través del tiempo, viene recibiendo los impactos de un crecimiento poblacional no planificado y poco racional resultante de las diferentes actividades socioeconómicas de la población. Tradicionalmente, el desarrollo económico de la cuenca se ha fundamentado, principalmente, en el crecimiento urbano, el desarrollo industrial, en las actividades agrícolas, pecuarias, forestales, turísticas y de extracción minera (canteras). Es por estas actividades que se viene afectando sensiblemente el equilibrio del sistema.

En la Ciudad de México, las transformaciones del sistema natural se han dado históricamente, a través de los cambios producidos por los diferentes tipos de actividades humanas como la construcción y urbanización, el control y desecamiento de los lagos, el desagüe artificial, la extracción del agua del subsuelo, la deforestación y la disminución de zonas de recarga.

En la región sur de la ciudad de México, como en toda la ciudad, los patrones espaciales de deforestación, están fuertemente afectados por la historia económica y la dinámica espacial y temporal del crecimiento urbano. Esto ha dado como resultado una gran transformación en el mosaico de paisajes urbano-rurales, lo cual se refleja en el fuerte deterioro de los recursos naturales, escénicos y culturales de la zona.

Estas perturbaciones han producido impactos negativos, como la pérdida de la cobertura vegetal natural, la degradación del suelo y los cambios en el comportamiento hidrológico de las microcuencas que la conforman, todo esto ha traído consigo la disminución y degradación del capital hidrológico –forestal de la zona.

Una de las problemáticas principales de este tipo de desarrollo urbano sin planificación, es que la expansión urbana indiscriminada, fragmenta, aísla y degrada los hábitats naturales, simplifica y homogeniza la composición de especies, interrumpe sistemas hidrológicos y modifica los flujos de energía y ciclos biogeoquímicos (Alberti y Marzluff, 2004). Es así como los cambios dados en las últimas décadas, en las condiciones ecológicas del área de estudio afectan los servicios ambientales locales y globales, así como su capacidad para sostener a la población urbana en crecimiento. Estos patrones urbanos (formas urbanas,



distribución de usos de la tierra y conectividad) tienen efectos diferenciales sobre la sustentabilidad de la ciudad y la posible recuperación de los espacios naturales que pueden prestar servicios ambientales, especialmente en la zona denominada “suelo de conservación” de la ciudad.

Todas estas transformaciones han producido un fuerte dinamismo de paisaje, trayendo consigo un cambio en el potencial de las zonas forestales y en el recurso hídrico que puede tener esta área de la ciudad. Esta situación plantea la necesidad de disponer de información cuantitativa y georeferenciada actualizada para poder enfrentarse al ordenamiento del territorio de manera fundamentada y con criterios sólidos.

Para relacionar el patrón espacial de la urbanización con los procesos ecológicos se necesitan métodos cuantitativos de análisis espacial. Uno de ellos es el análisis de transformación del potencial hidrológico-forestal a través del análisis de los cambios dados en la configuración del paisaje, especialmente basados en los cambios que se dan en los factores formadores dinámicos como es el caso de la cobertura y el uso del suelo (Luck y Wu, 2002).

Mapa de uso del suelo y Vegetación 2000. continuación se muestran los resultados (figura 12) de la elaboración de cartografía de uso del suelo y vegetación del año 2000. Se reclasificaron las áreas de bosques conjuntando todas los tipos de bosques presentes en el área y se detallaron las áreas urbanas.

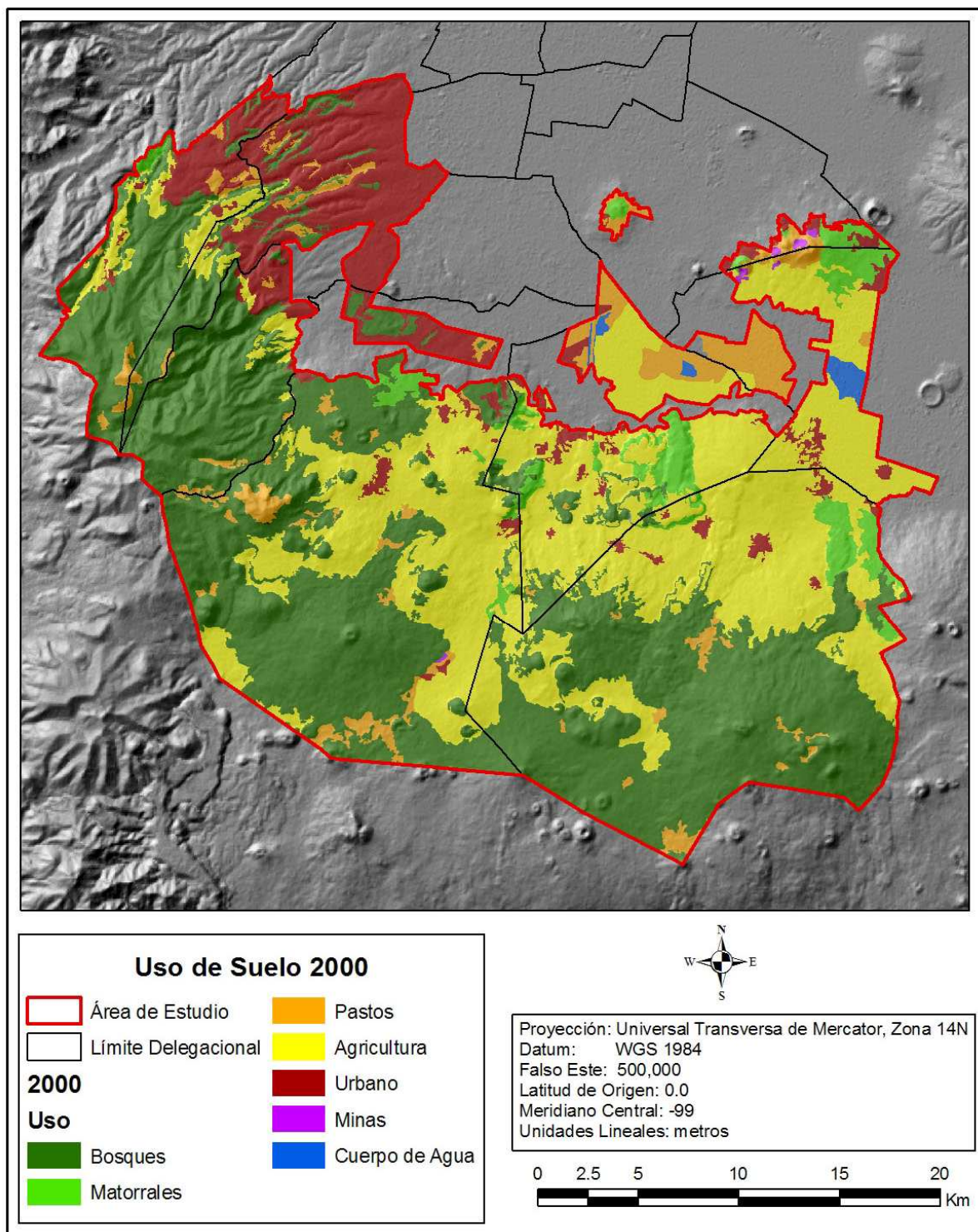


Figura 12. Clases de cobertura y uso del suelo del año 2000.



En el año 2000 el uso agrícola ocupaba el 33% del total del área de estudio, la mayoría de estas áreas se encontraba en suelos de textura medias y en pendientes mayores del 10%. Los bosques ocupaban el 46% del área, en pendientes mayores del 10% y suelos de texturas media y finas.

Las zonas urbanas ocupaban el 11.17% del total del área de estudio en su mayoría en paisajes con pendientes mayores del 10% y suelos de texturas finas a medias.

Las zonas de pastizales y los matorrales conforman cerca del 10% del total del área.

Cartografía años 2006 y 2010. Las figuras 13 y 14 presentan los mapas obtenidos de la clasificación de las imágenes de satélite SPOT (años 2006 y 2010), donde se representan las categorías clasificadas, como son: bosques, matorrales, pastizales, agricultura, urbano, cuerpos de agua, y minas.

En el años 2006 los bosques y los matorrales ocupan cerca del 48% del total del área, mientras que las zonas urbanas aumentaron y ocupan el 14.2%.

En el año 2010 las zonas de bosques bajaron a un 43.9% , las áreas agrícolas y los pastizales son el 37% del área y los matorrales bajaron al 3.6%.

De acuerdo con el análisis de la cartografía obtenida a través del procesamiento e interpretación de imágenes, los cambios en áreas por cobertura entre los años 2000 a 2010 son de pocas hectáreas sin embargo, es de gran importancia tener en cuenta en que condiciones ecológicas donde se dieron estos cambios, con el fin de establecer las afectaciones al capital hidrológico- forestal, que se derivan de ellos. Este análisis se hará en el capítulo de análisis de los índices de transformación al capital hidrológico forestal.

Cobertura y uso del suelo (Ha)	Año 2000	Año 2006	Año 2010
Bosque	43951.82	42671.22	42156.51
Matorral	3866.77	3347.8	3330.79
Pastos	4714.66	5451.46	5236.13
Agricultura	32069.42	30345.59	30363.47
Urbano	10620.64	13541.29	14168.33
Agua	448.83	499.92	619.5
Minas	120.26	111.11	89.51

Tabla 7. Clases de Cobertura y uso del suelo años 2000, 2006, 2010.

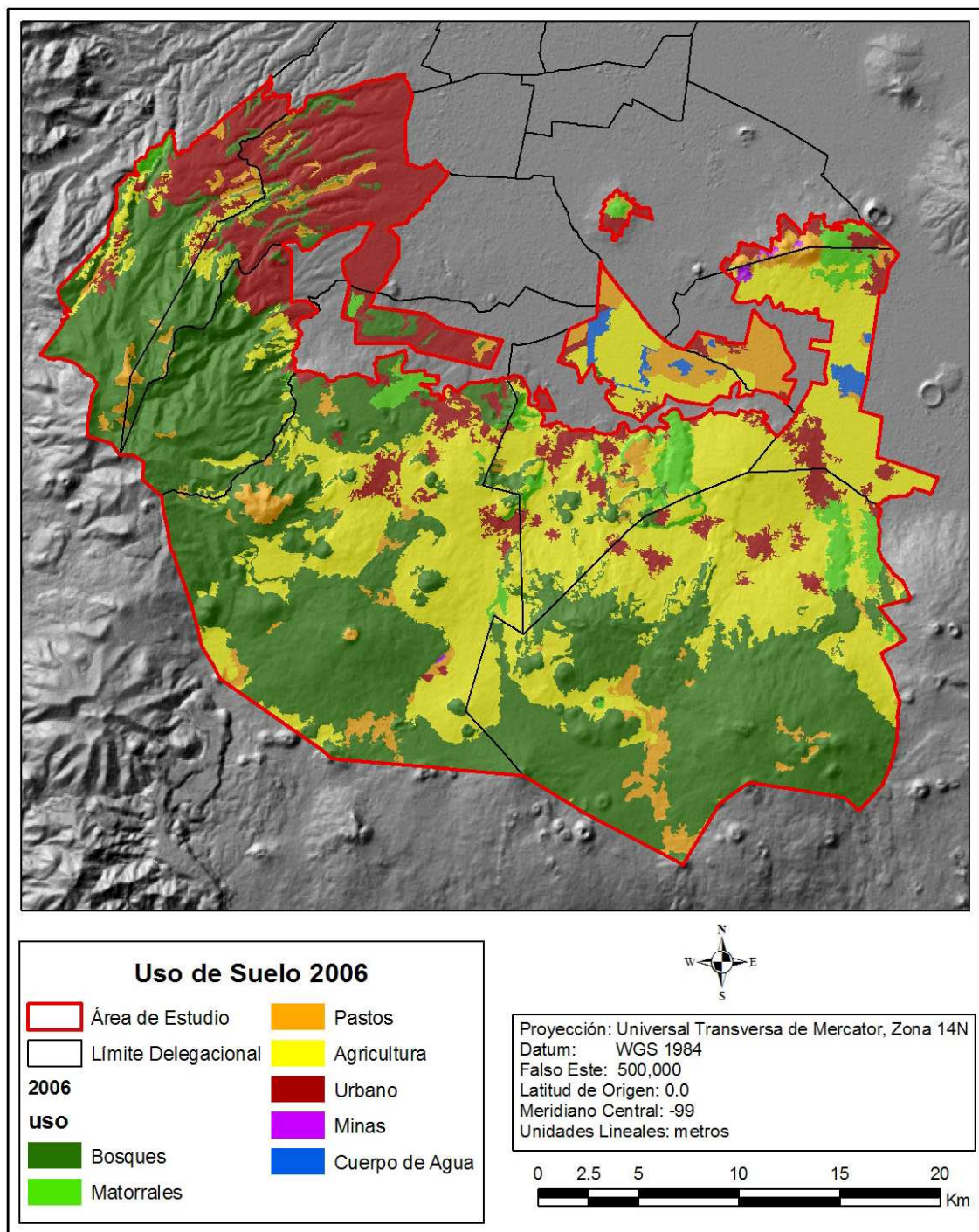


Figura 13. Clasificación Cobertura y uso del suelo año 2006 (imágenes SPOT).

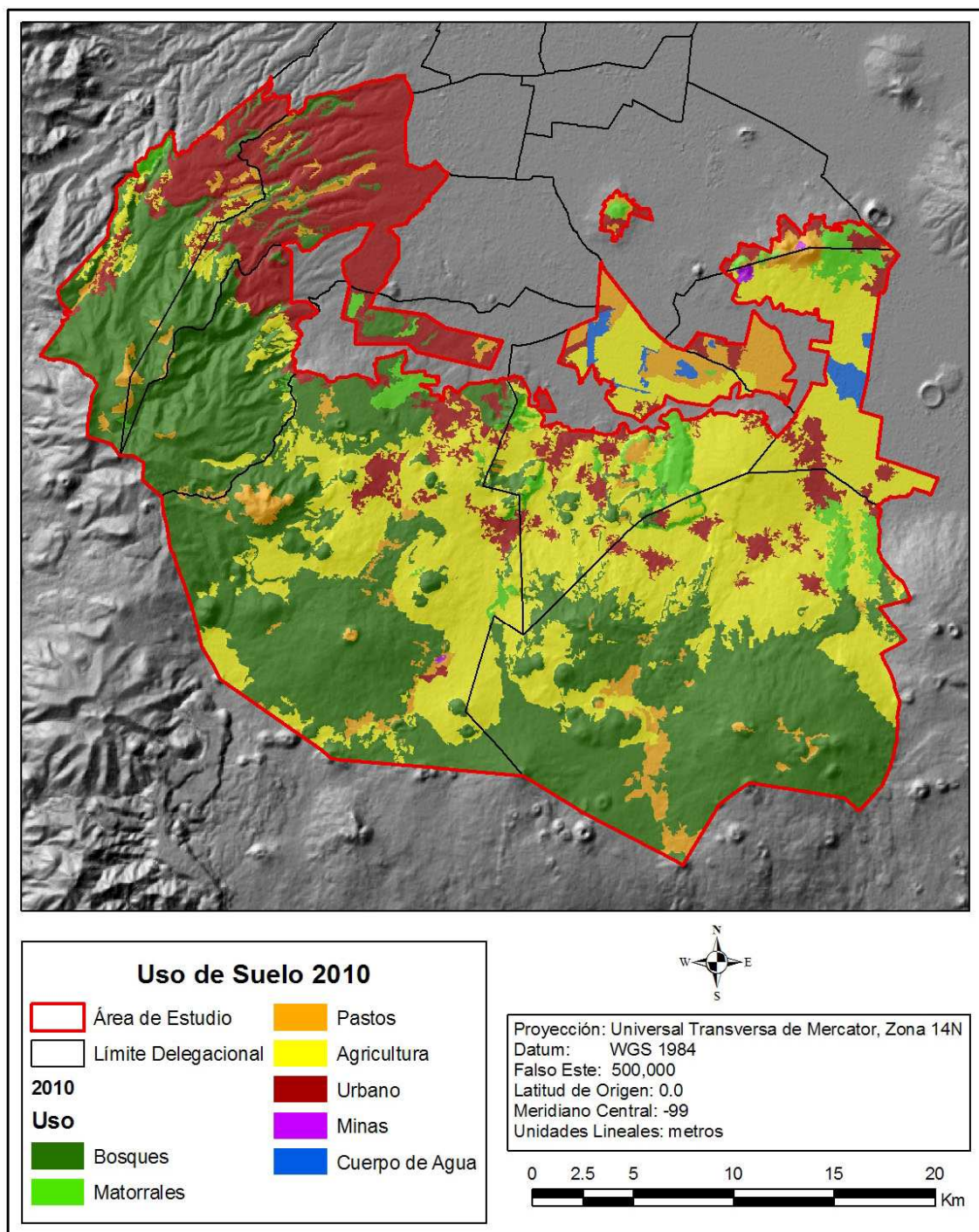


Figura 14. Clasificación de cobertura y uso del suelo año 2010 (imágenes SPOT).



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

Análisis de Cambios. Los mapas de los años 2006 y 2010 y el mapa de vegetación y uso del suelo del año 2000, se combinaron mediante modelos heurísticos con reglas de decisión para analizar la distribución espacial de los cambios en la cobertura y uso del suelo, ocurridos en las fechas consideradas. El mapa de la distribución de los principales cambios en las tres fechas consideradas se muestran en las figura 15 y 16.

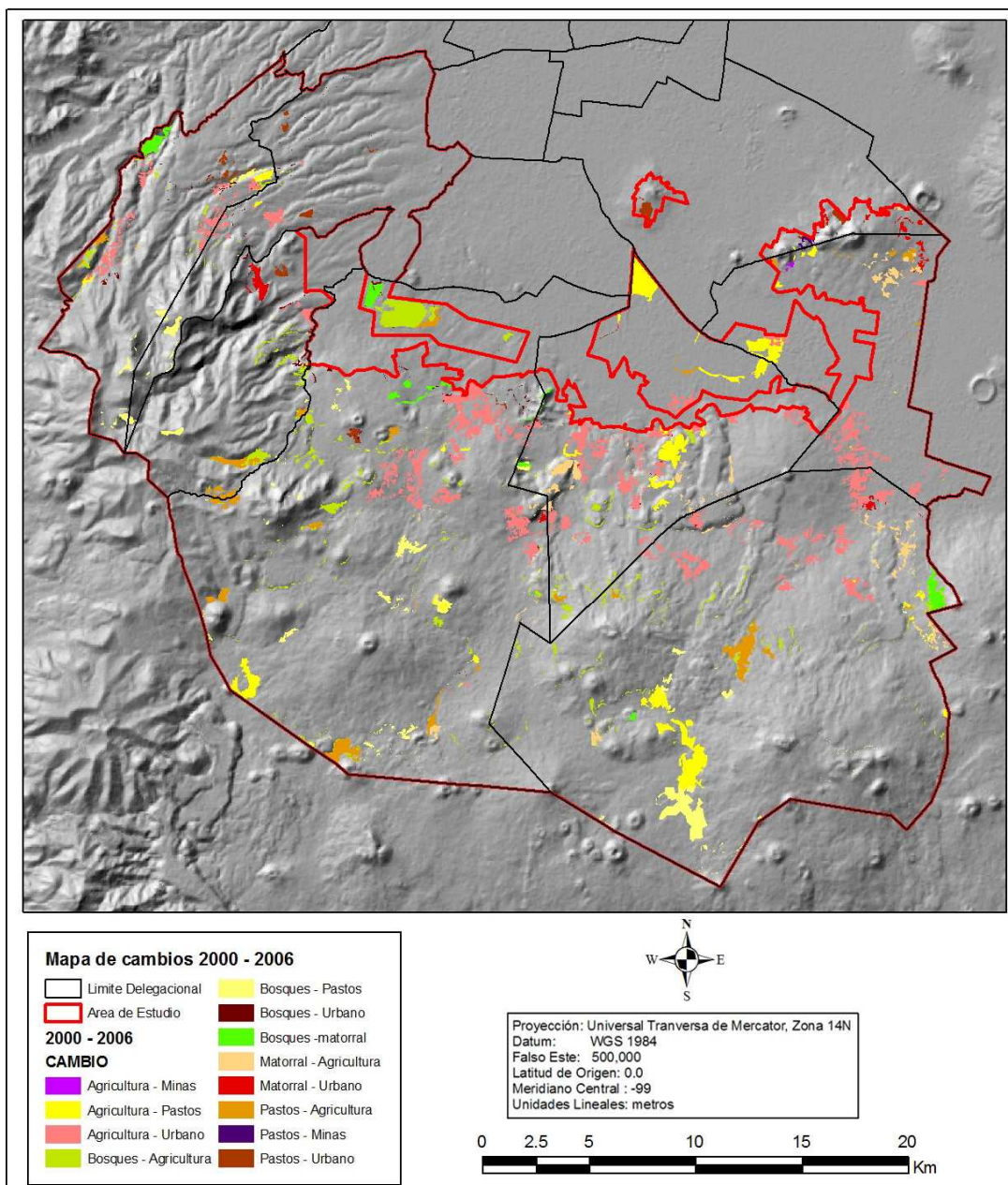


Figura 15. Distribución espacial de los principales cambios en la Cobertura y uso del suelo entre años 2000 y 2006.

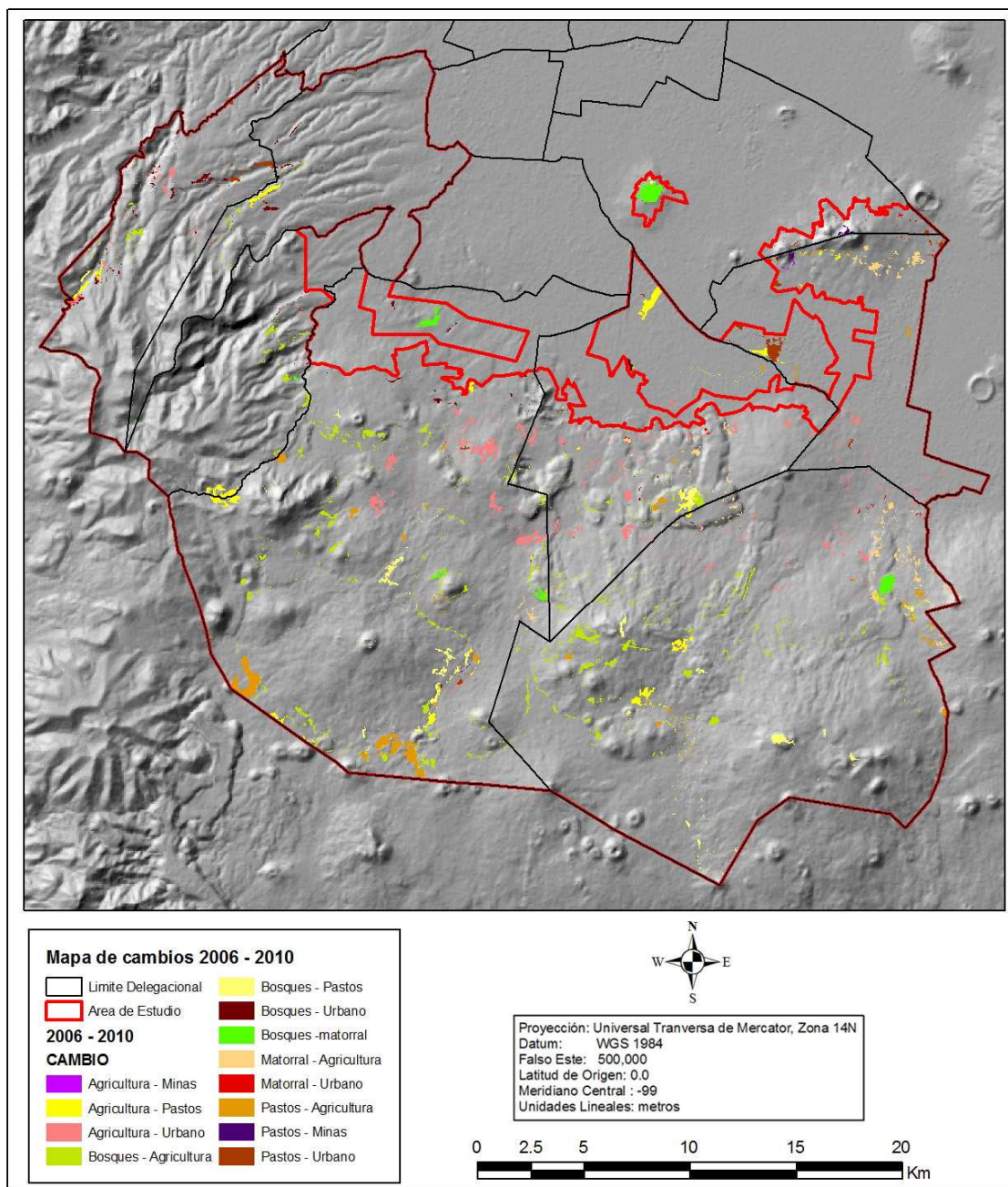


Figura 16. Distribución espacial de los principales cambios en la Cobertura y uso del suelo entre años 2006-2010.

La figura 17 y la tabla 8 muestran los cambios en la ocupación de las diferentes coberturas dentro del área de estudio en las tres fechas analizadas. Los bosques

EOT-11-2010

sufrieron una disminución solo del 2% del 2000 al 2010, las zonas urbanas aumentaron del 11 al 15% entre el 2000 y el 2010.

Cambios de Cobertura y uso	Cambio 2000-2006	Cambio 2006-2010	Cambio 2000-2010
Bosques-Matorral	227.05	72.22	294.98
Bosques-Pastos	820.25	255.03	854.88
Bosques-Agricultura	1,104.04	902.99	1333.67
Bosques-Urbano	144.84	118.02	194.52
Matorral-Agricultura	406.37	247.80	533.70
Matorral- Pastos	229.96	24.22	111.34
Matorral-Urbano	181.22	95.59	260.18
Pastos-Agricultura	694.96	283.15	759.20
Pastos-Urbano	213.54	134.74	270.66
Pastos a Minas	34.98	15.87	17.87
Agricultura-Pastos	798.46	332.18	836.44
Agricultura-Urbano	2,544.81	612.21	2957.02
Agricultura-Minas	7.66	2.90	10.68

Tabla 8. Cambios de cobertura y uso (Ha).

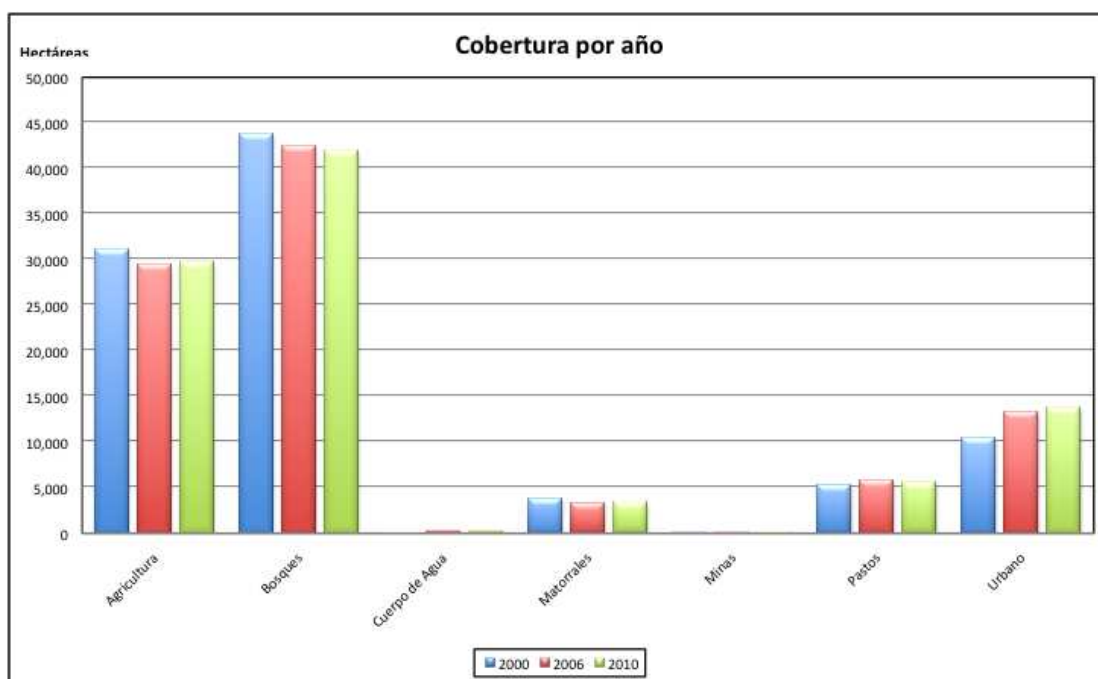


Figura 17. Comparativo en hectáreas de los años 2000, 2006 y 2010.



La matriz de tabulación cruzada (que en el estudio de usos de suelo comúnmente se denomina matriz de cambios) resultado de cruzar dos mapas de diferente fecha (2000-2006, 2000-2010 y 2006-2010). En dicha matriz (tabla 9 y 10) las columnas representan las clases en el tiempo 1 (T1) y las filas las clases en el tiempo 2 (T2). Asimismo, la diagonal principal muestra las persistencias entre el T1 y T2, mientras que los elementos fuera de la diagonal principal dan cuenta de las transiciones ocurridas entre el T1 y T2 para cada clase.

La matriz de cambios permite obtener para cada clase de uso del suelo las ganancias y las pérdidas, el cambio neto y los intercambios experimentados entre dos momentos temporales. Así mismo permite valorar el cambio total tomando como referencia las persistencias y así poder evaluar cuales fueron las transiciones sistemáticas más significativas entre las diferentes clases.

De acuerdo, a estos resultados se puede apreciar: a) que los mayores cambios ocurrieron entre los años 2000 y 2006, siendo en su orden de importancia las zonas urbanas, la agricultura, bosques y matorrales. b) Los bosques, los matorrales y la agricultura disminuyeron en área entre los años 2000 - 2006 y 2000 - 2010. Entre 2006 y 2010 hay un ligero aumento en las zonas agrícolas c) La zona urbana presenta un aumento consistente en las tres fechas consideradas, c) los pastos disminuyen entre 2000 - 2006 y aumentan entre 2006 y 2010. La expansión de las zonas urbanas se ha dado principalmente sobre áreas agrícolas, de pastizales y forestales, y en menor proporción sobre matorrales.

	Año 2006							
	CLASES	Bosque	Matorral	Pastos	Agricultura	Urbano	Minas	Agua
	Área en hectáreas							
A Ñ O 2 0 0 6	Bosque	41,601	227	820	1,104	145	3	0
	Matorral	0	2,964	230	406	181	3	0
	Pastos	0	8	3,951	695	213	35	139
	Agricultura	0	125	798	27,167	2,545	8	0
	Urbano	0	0	0	0	10,557	0	0
	Minas	0	0	44	0	10	59	0
	Agua	0	0	53	85	0	0	305

Tabla 9. Matriz de cambios de vegetación y uso del suelo años 2000 -2006.



	Año 2010							
	Área en hectáreas							
	CLASES	Bosque	Matorral	Pastos	Agricultura	Urbano	Minas	Agua
A Ñ O 2 0 0 6	Bosque	41,214	72	255	903	118	2	0
	Matorral	39	2,991	24	248	96	0	0
	Pastos	84	139	4,918	283	135	16	83
	Agricultura	69	126	332	27,971	612	3	88
	Urbano	0	0	0	0	13,590	0	0
	Minas	0	25	14	1	0	68	0
	Agua	0	10	54	3	1	0	491

Tabla 10. Matriz de cambios de vegetación y uso del suelo años 2006 -2010.

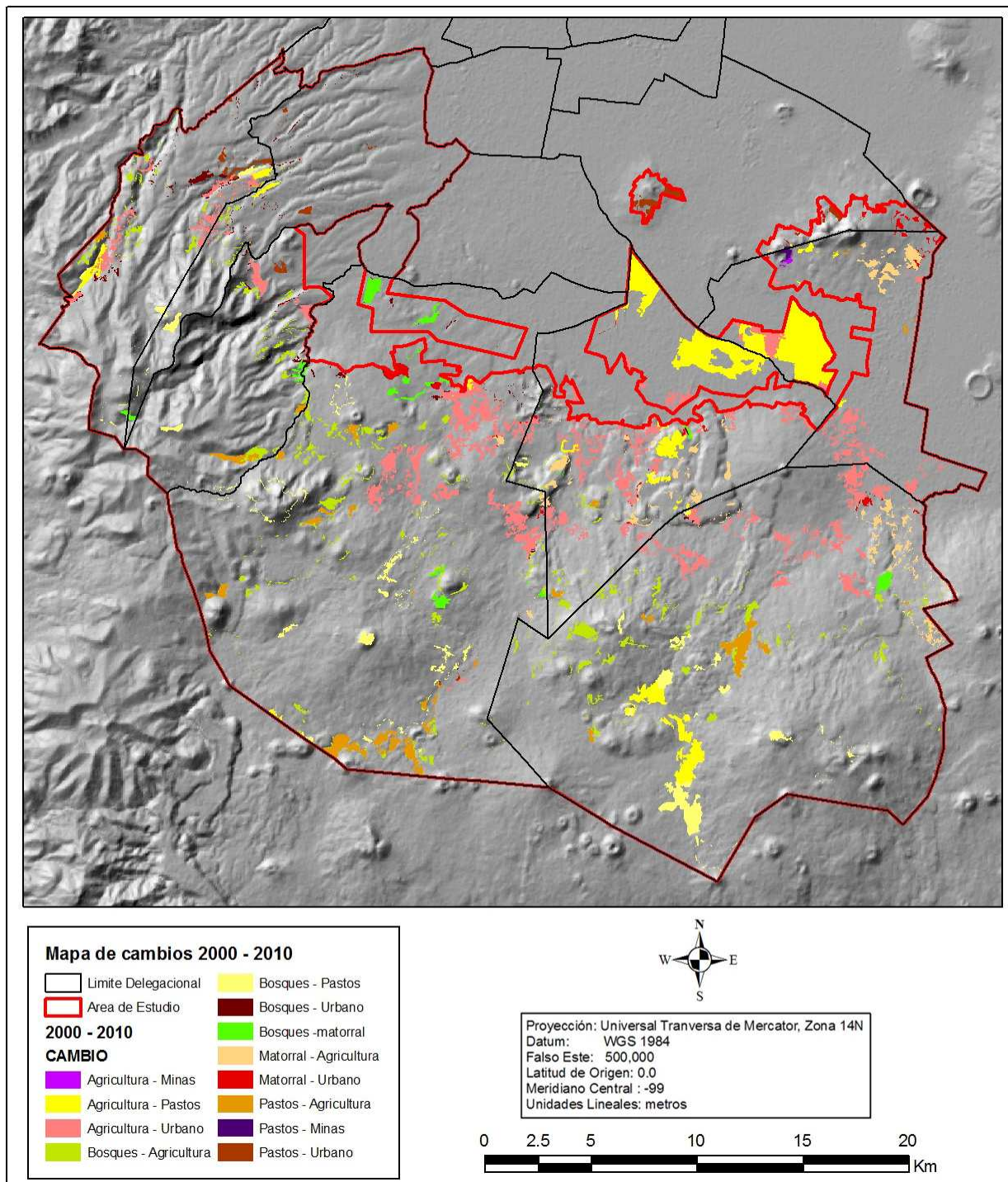


Figura 18. Distribución espacial de los principales cambios en la Cobertura y uso del suelo entre años 2000 a 2010.



En el mapa de distribución espacial de los principales cambios en la cobertura y uso del suelo entre años 2000 a 2010 (figura 18) se muestran los principales cambios ocurridos entre las tres fechas consideradas. De acuerdo al análisis de este mapa y las matrices de cambio, los cambios dados en las coberturas del área de estudio, se pueden dividir en tres grandes grupos:

- a. Un primer grupo constituido por dos tipos de coberturas en las cuales ocurren cambios importantes, del orden de 2000 a 3000 hectáreas a saber: agricultura a urbano y agricultura a pastos. En el caso de las zonas urbanas se puede apreciar que su aumento ha sido consistente a través de las tres fechas, señalando que el mayor incremento se dio entre los años 2000 y 2006. Es importante señalar que en el primer caso, la transformación de a zonas urbanas es un cambio definitivo, no siendo así los cambios que se dan entre la cobertura de agricultura y pastizales. En este caso es probable que en realidad muchas áreas no cambien de uso en un sentido estricto, ya que puede suceder que la mayor parte de dichos cambios solo obedezcan a una extensión del periodo de descanso de la tierras y no a un cambio de uso verdadero. De otra parte se aprecia que en la zona de Xochimilco algunas áreas que siempre han sido pastizales, en el año 2000 fueron cartografiadas como agricultura.
- b. Un segundo grupo de coberturas que presentan cambios moderados que fluctúan entre 500 y 1000 hectáreas, a saber: Bosques a agricultura, bosques a pastos, pastos a agricultura. En este caso el cambio de bosque a agricultura se puede considerar un cambio permanente. En el caso de los cambios de bosques a pastos, se puede deber a que en el año 2000 algunas áreas de pastos no fueron cartografiadas como tales.
- c. Un tercer grupo de coberturas que presentan cambios menores a 500 hectáreas, a saber: bosques a urbano, matorral a urbano, pastos a urbano y bosques a matorrales.
- d. Finalmente es importante señalar que en general los valores de cambios entre 0.03 a 30 has que muestran las matrices de cambios no obedecen a cambios verdaderos, sino a la sumatoria de pequeñas áreas que se generan en el proceso cartográfico debido a la diferencia entre la escala de detalle de la imágenes y la escala del mapa.

5.2. Caracterización de las unidades de paisaje o unidades hidro-ecológicas

Con el fin de generar un diagnostico integral de la situación de cambio se realizó el análisis de la transformación sobre la base de unidades de paisaje, las cuales se definen como una asociación de patrones estructurales, espaciales y temporales que representan las propiedades emergentes del mismo; elementos que se

analizan mediante el estudio y la identificación de patrones visibles y de las relaciones, características y procesos que están inmersos dentro de estos.

El paisaje debe entenderse como un sistema caracterizado por una serie de atributos interdependientes que incluyen componentes abióticos, bióticos y antrópicos. De acuerdo con lo anterior, las unidades de paisaje serán las subunidades que representan la dimensión ecológica, y a través de la cual se analizan las transformaciones del capital hidrológico-forestal de la región. Esta visión del paisaje ecológico en área de estudio, se presenta desde una perspectiva holística, es decir, bajo la concepción de que el clima, la geología, la geomorfología, el suelo, la hidrología, la vegetación y el ser humano inciden sobre cada uno de los elementos del medio y sobre todo el conjunto, ya que al estar en completa interacción tienen la capacidad de modificar el entorno.

La figura 19 presenta el enfoque conceptual sobre el cual se hace la integración de las unidades de paisaje. Este enfoque se utilizó para la definición del modelo de integración espacial de las unidades, teniendo en cuenta los principales factores formadores de las mismas (adaptado de Zonneveld, 1988).

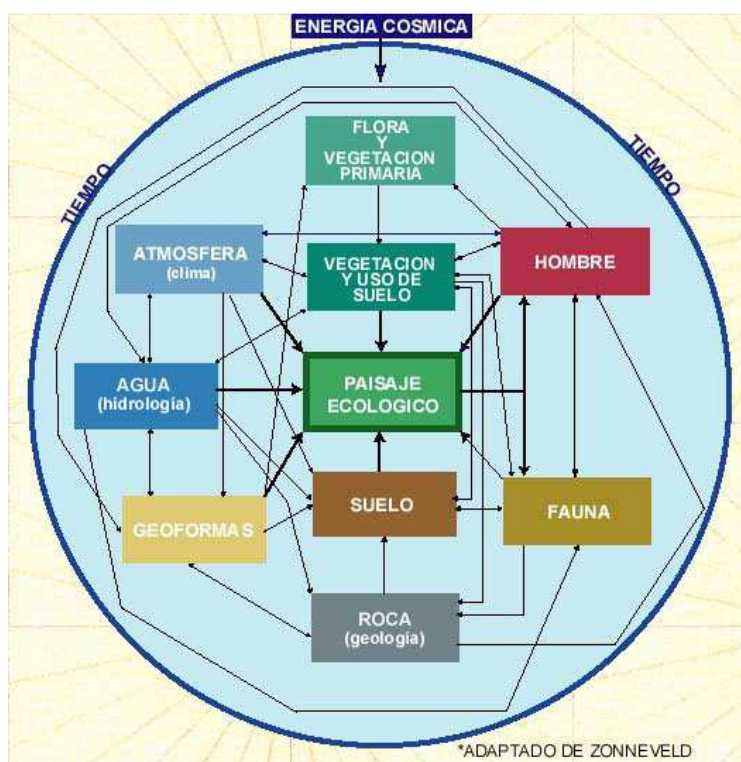


Figura 19. Paisaje Ecológico. Teoría de la ecología del paisaje.

Es así como, con base en este enfoque de ecología del paisaje, se definieron las unidades de paisaje a través de la integración a priori del mapa de sistemas de paisaje geomorfológico, los climas y el suelo, para obtener la primera base de paisajes y sobre ellos se hizo el análisis en la cobertura y el uso del suelo. Estas unidades de paisaje integradas fueron la base para el análisis de la transformación del paisaje, a través de los cambios dados entre las tres fechas estudiadas (2000, 2006 y 2010). Lo anterior, permitió elaborar los índices de transformación del capital hidrológico-forestal del área de estudio, así como el análisis de la expansión urbana (figura 20).

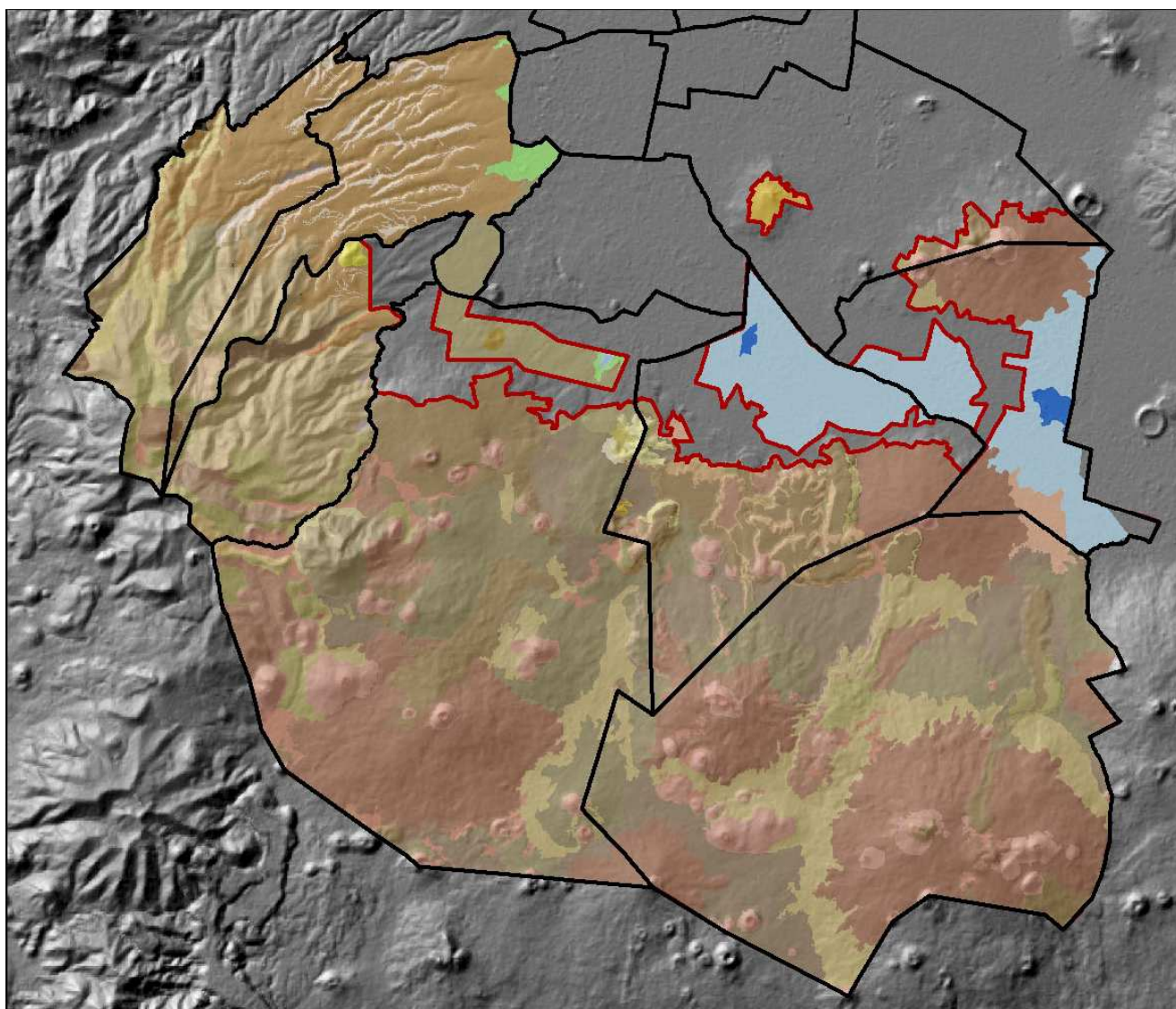


Figura 20. Mapa de unidades del sistema geomorfológico (Alviar, 2010).

Geomorfología

	Límite Delegacional		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Campo de Lavas - Talud		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Cono Piroclástico - Pared Cráter
	Área de Estudio		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Campo de Lavas 1 - Escarpes		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Cono Volcánico - Cráter
	Cuerpo de Agua		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Campo de Lavas 1 - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Cono Volcánico - Laderas
	Piedemonte Fluvio-volcánico - Abanico-Terraza - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Campo de Lavas 1 - Talud		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Crestas - Laderas
	Piedemonte Fluvio-volcánico - Abanico-Terraza - Planos		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Campo de Lavas 2 - Escarpes		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Crestas Ramificadas - Laderas
	Piedemonte Fluvio-volcánico - Abanico-Terraza - Talud		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Campo de Lavas 2 - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Escarpe - Escarpes
	Piedemonte Fluvio-volcánico - Cañadas - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Colada de Lavas - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Escarpe Mayor - Escarpes
	Piedemonte Fluvio-volcánico - Plano Inclinado - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Colada de Lavas - Talud		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Rellanos - Planos
	Planicie Lacustre - Plano lacustre - Cubeta		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Colada de Lavas 1 - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Talud de derrubios - Talud
	Relieve Colinado Volcánico Erosional - Campo de Lavas 1 - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Colada de Lavas 1 - Plano inclinado		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Volcán - Cráter
	Relieve Colinado Volcánico Erosional - Campo de Lavas 2 - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Colada de Lavas 1-2 - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Volcán - Laderas
	Relieve Colinado Volcánico Erosional - Colada de Lavas - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Colada de Lavas 2 - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Volcán de Lava - Escarpes
	Relieve Colinado Volcánico Erosional - Colinas - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Colada de Lavas actual - Escarpes		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Volcán de Lava - Laderas
	Relieve Colinado Volcánico Erosional - Colinas Ramificadas - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Colada de Lavas actual - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Volcán de Lava - Talud
	Relieve Colinado Volcánico Erosional - Cono Piroclástico - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Colada de Lavas actual - Talud		Valle Aluvial
	Relieve Colinado Volcánico Erosional - Cono de Lava - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Cono Piroclástico - Cráter		
	Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Campo de Lavas - Laderas		Relieve Montañoso Volcánico Erosional - Cono Piroclástico - Laderas		

Para la caracterización de las unidades del sistema geomorfológico presentes en el área de estudio, se realizó un trabajo de análisis y caracterización del paisaje a través de la revisión de los mapas de geología, suelos, vegetación primaria y el uso actual de las tierras. En cuanto al análisis de la composición florística de los diferentes tipos de vegetación presentes en cada una de las unidades del sistema de paisajes, se tuvieron en consideración las referencias de diferentes estudios. (Rzedowski, J., 2006). A continuación se presentan los resultados de dicho análisis:

Unidades del sistema de paisaje montañoso volcánico erosional. El sistema montañoso volcánico erosional, está conformado por unidades de paisaje que están representados en un relieve montañoso volcánico. Este relieve se caracteriza principalmente por tener pendientes ligeramente escarpadas (25-50%) a fuertemente escarpadas (>75%). También se presentan algunas áreas de relieves ligeramente inclinadas (3-7%) a fuertemente inclinadas (12-25%), generalmente localizadas en los interfluvios. Este sistema montañoso está conformado por cuatro grandes estructuras tectovolcánicas, diferenciadas entre sí, por su edad geológica, por sus características morfológicas y su litología. En la sierra sur, del Ajusco-Chichinautzi se presentan rocas ígneas volcánicas básicas vulcanitas, lavas y conos volcánicos de composición basáltica del cuaternario superior y hacia el sur oeste por rocas ígneas volcánicas intermedias del terciario (andesitas y dacitas)

En este sistema se encuentran principalmente suelos desarrollados a partir de depósitos superficiales clásticos, piroclásticos no consolidados (ceniza, vidrio y arena volcánica) correspondientes a los andosoles. Estos suelos presentan propiedades resultado del material parental y de las condiciones ambientales, es decir que son suelos débilmente intemperizados con altos contenidos de vidrio volcánico, lo cual los hace más susceptibles a la erosión. En cuanto a sus características químicas son suelos que tienen valores altos de carbono orgánico y CIC y alta fijación de fósforo. Las principales clases de suelos y no suelos (afloramientos rocosos) que se presentan, corresponden a los andosoles húmico, andosol mólico, andosol ocrico, muchos de estos en asociación con los feozem háplico. En general los suelos derivados de ceniza volcánica presentan como característica particular la retención de agua. Esta alta capacidad de retención de agua, les imprime un alto nivel de saturación hídrica en el perfil, lo que permite que estos suelos tengan muy alta susceptibilidad a los deslizamientos y/o desprendimientos.

En este sistema también se presentan áreas con afloramientos rocosos y suelos muy superficiales como los litoles, se encuentra principalmente en los extremos sureste y suroeste de la sierra del Chichinautzi, más específicamente en los derrames lávicos de los volcanes Tláloc, Pelado, Xitle y Chichinautzi. Este tipo de suelo es muy delgado, ya que tiene una profundidad menor a 10 cm hasta la roca.

El litosol tiene características variables, en función del material que lo forma. Puede ser fértil o infértil, arenoso o arcilloso. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona en que se encuentre, de la topografía, la cobertura vegetal, la pendiente, entre otras.

Por otra parte se encuentran suelos profundos como los luvisoles mólicos de texturas franco-arenosas y francas, algunas gravillosas, cascajosos y pedregosos, algunos pedregosos en superficie, de color oscuro, producto de la elevada acumulación de materia orgánica. Se encuentra también el feozem háplico, el cual está ubicado en la región norte y noreste de la sierra del Chichinautzin y en las coladas de lava de Xochimilco, son suelos de color negro o café oscuro, profundo y susceptibilidad a la erosión variables de acuerdo con el sitio donde se localice.

Aunado a los problemas que se presentan por las características de los suelos, se encuentran las fuertes pendientes que caracterizan este paisaje montañoso y que contribuyen aún más a acelerar los problemas de degradación por erosión hídrica y fenómenos de remoción en masa y, a estar en permanente riesgo por su alta susceptibilidad a los mismos.

La vegetación de este sistema montañoso es principalmente arbórea, compuesta por bosques de *Pinus hartwegii*, bosque de *Abies religiosa* (Oyamel), bosque de *Quercus* (encinos) *Q. obtusata*, *Q. laeta* y *Q. rugosa*. El *Pinus hartwegii*, se desarrolla en este ambiente de alta montaña y se ubica en el piso subalpino con altitudes entre los 3400 y 3800 msnmm, el cual constituye su hábitat exclusivo. También se encuentra localizado y confinado a las cumbres bajo un clima con temperaturas promedio de 8°C, precipitaciones de 1200 mm anuales. Estas zonas montañosas presentan cambios, debido al cambio de uso del suelo, dados por la presión rural y en algunos casos la expansión de los pueblos y los asentamientos irregulares. Esto ha eliminado y reducido el bosque de vegetación natural primaria a parches dispersos, creando ecotonos difusos con otras pináceas y oyameles. En las cumbres de este sistema, por encima de los 3800 msnm, se hace presente la vegetación de páramo de altura representada por el zacatonal alpino, las especies dominantes son *Muhlenbergia macroura* y *Festuca tolucensis*, las cuales pueden estar acompañadas por otras plantas tanto arbustivas como herbáceas. Estos zacatonales, aún cuando están al margen de presiones antrópicas, con frecuencia sufren incendios naturales que, bajo control, estimulan posteriormente su desarrollo (García-Romero, 2004).

En altitudes que varían entre los 2700 y 3500 msnmm, bajo un clima templado húmedo caracterizado por precipitaciones entre 1000 y 1400 mm anuales y temperaturas medias entre 7.5 y 13°C se desarrollan los bosques de Oyamel. Fisonómica, ecológica y florísticamente es una comunidad bien definida, siempre verde, con cobertura densa y elevada. A su estrato arbóreo se incorporan especies de *Alnus firmifolia* (aile), *Quercus laurina* (encino), *Salix oxylepis*, *Cupressus lindleyi* (ciprés) y *Garrya laurifolia*. El sotobosque que caracteriza esta comunidad es escaso en arbustos y herbáceas. Algunas especies que crecen y

enriquecen el sotobosque, están representadas por arbustos cuyos géneros principales son *Arctostaphylos*, *Arbutus* (madroño) y *Salix* (Rzedowski, 1979). El estrato herbáceo es rico en cantidad y número de especies pertenecientes, sobre todo, a *Senecio salignus* (jarilla), *Baccharia conferta* (escobilla) *Salvia mexicana*, *Eupatorium petiolare*, *Sigesbeckia jorullensis kunth*. (Gobierno del Distrito Federal, 2002).

En las sierras del Ajusco, Las Cruces, Chichinautzin y Monte Alto, el cubrimiento de oyamel forma aún parches amplios densos y continuos donde no se ha modificado y/o alterado significativamente, a diferencia de lo que ha ocurrido en el caso de los bosques de pinos y encino. Este aceptable grado de conservación, obedece en gran medida al hecho de encontrarse en áreas que pertenecen a los parques nacionales de Cumbres del Ajusco, Desierto de los Leones y Los Dinamos.

En general la vegetación primaria de este sistema, tenía una distribución fitoecológica organizada en pisos altitudinales, este patrón fue modificado por factores antropogenéticos, por lo que se ha ido sustituyendo los bosques primarios y la vegetación nativa por grupos de vegetación secundaria, diversos tipos de asentamientos humanos y áreas de reforestación con vegetación introducida. Algunos de estos cambios se han dado en las laderas bajas de las sierras de Las Cruces y de Monte Alto, siendo sustituidos en algunos casos por bosques sembrados.

En algunas zonas de este sistema, las comunidades vegetales han sido reemplazadas por pastos y agricultura y, en algunos casos, degradadas por procesos de aprovechamiento forestal indiscriminado. Otra de las razones por las que estas formaciones vegetales se han degradado, son los incendios forestales recurrentes, debido al efecto indirecto de prácticas agropecuarias inadecuadas, como es la utilización de fuego para la de renovación de pastos.

Por otra parte, el crecimiento urbano de los asentamientos humanos con el consecuente desarrollo en los diferentes aspectos socioeconómicos en la última década, han sido factores determinantes en los procesos de deforestación, transformando el paisaje ecológico y ocasionando las problemáticas ambientales que hoy en día afectan la zona.

Unidades del sistema de paisaje de piedemonte. La geomorfología que representa a este sistema corresponde a un relieve de piedemonte, conformado por geoformas de lomas y abanicos volcánicos que ocupan las estribaciones de las sierras y constituyen una zona de transición entre el relieve montañoso y las superficies casi planas de la planicie fluviolacustre. Se presentan relieves ligeramente inclinados con pendientes 3-7% y moderadamente inclinados con pendientes 7-12% y las zonas más cercanas a las montañas y áreas de cañadas con relieves fuertemente inclinados de pendientes (12-25%) y mayores.

Las principales rocas que constituye esta paisaje son ígneas volcánicas ácidas, ígneas intrusivas intermedias, tobas y basaltos. Se encuentran además rocas volcánicas piroclásticas consolidadas pumitas, tobas de ceniza, “Formación Tarango”, del terciario (plioceno) y depósitos superficiales clásticos piroclásticas consolidadas (pumitas) y no consolidadas (ceniza volcánica) y flujos hidrogravigénicos lahares (tobas y coladas andesíticas y basálticas) del cuaternario, (pleistoceno superior-holoceno) correspondiente a un relieve de acumulación de tipo diluvial y coluvio - aluvial.

Los suelos presentes en este sistema se desarrollaron a partir de los diversos tipos de materiales enunciados arriba y según su ubicación geográfica se presenta la influencia de estos materiales y el clima que lo caracteriza según su localización. Esta disminución de lluvias en sentido sur-centro-norte, permite que estas condiciones de humedad le impriman características propias y diferentes, típicas de los suelos con regímenes de humedad údico y ústico. Los principales suelos que representan este paisaje corresponden a los luvisoles, andosoles y cambisoles y en menor proporción los feozem. Las principales clases de suelos que se presentan, corresponden a los luvisoles eutricos, andosoles húmicos y ocrícos, y feozem háplicos y gleycos. Al igual que el sistema montañoso volcánico, se presentan suelos derivados de ceniza volcánica (con propiedades ándicas), propiedad que como se mencionó anteriormente les imprimen a los suelos una alta susceptibilidad a los deslizamientos y/o desprendimientos.

En cuanto a la vegetación, el sistema de piedemonte (desde la planicie hasta la cota 2500 msnmm), presentaba una cobertura de bosques densos y puros de *Quercus laeta*, *Q. deserticota*, *Q. crassipes* y *Q. obtusata* (encinares). Hoy en día, esta vegetación se encuentra casi extinta debido a la deforestación, a la expansión urbana y a los asentamientos humanos irregulares, así como a las diferentes actividades agropecuarias que se desarrollan en este sistema como la agricultura, la ganadería y, en algunos casos, a las actividades forestales. Estas últimas corresponden a bosques integrados por vegetación arbórea exótica, tal como *Eucalyptus globulus*, *Casuarina spp.*, cuyas plantaciones tienen el propósito de reforestar. Dentro de estas áreas se identifican algunos sectores reducidos de vegetación secundaria como es el *Schinus molle* (Pirul) que prospera a orilla de caminos, en zonas perturbadas y terrenos agrícolas, al igual que pequeños núcleos de *Buddleia spp.* (Tepozán) que subsisten como matorrales.

Se presentan además, áreas de matorral húmedo–subhúmedo, el cual pertenece a una comunidad vegetal distribuida al sureste en el piedemonte del complejo serrano Las Cruces – Monte Alto, sector cuya deforestación ha estimulado su proliferación y amplitud. El tipo de matorral que domina está representado por especies como *Baccharis conferta* (escobilla), *Buddleia cordata* y *B. lanceolata* (Tepozanes), *Senecio salignus* (jarilla), encinares chaparros y pastos. Sin embargo, los matorrales en ámbitos más bajos y menos húmedos están siendo invadidos por *Opuntia spp.* (nopal), *Mimosa acanthocarpa* (uña de gato),

Indigofera spp., *Schinus molle* (pirul), las cuales son más agresivas y tienen una mejor adaptación a las condiciones ecológicas.

La eliminación de la vegetación natural de encinos es producto de la deforestación debido a un fuerte desarrollo agropecuario, las actividades inadecuadas, especialmente el sobrepastoreo, la sobrecarga de ganado y las prácticas de manejo. Estas actividades, generan serios problemas debido al desarrollo de prácticas de manejo inadecuadas. Aunado a esto, los materiales del suelo presentan una alta susceptibilidad debido a sus características físicas, particularmente la granulometría puesto que son materiales de baja cohesión y poco desarrollo de estructura, lo cual hace que sean de fácil transporte y arrastre.

Por otra parte, en este sistema se presentan asentamientos en zonas de alto riesgo ubicadas generalmente sobre las cañadas (barrancas) y donde por lo general en época de lluvias se presenta un fuerte socavamiento de los taludes, dando como resultado la falla de los taludes (desbarrancamiento de los materiales del suelo en los taludes de las cañadas). Se encuentran además, áreas dedicadas a actividades mineras, con consecuencias no sólo desde el punto de vista de los asentamientos y hundimientos de los terrenos, sino por el impacto ecológico paisajístico que se deja.

Unidades del sistema de planicie acumulativa- La geomorfología de este sistema está representada por un relieve de planicie. Este relieve se caracteriza principalmente por tener pendientes ligeramente planas y planas (0-3%). Estos paisajes están representados por dos tipos de relieves de acumulación, encontrándose la planicie aluvial y lacustre, sin embargo en la zona de estudio solo se presenta la planicie lacustre al sur denominada la depresión Xochimilco.

La depresión de Xochimilco limita al oriente con la Sierra Nevada, por el sur y poniente con las sierras del Chichinautzin y del Ajusco y al norte con la sierra de Santa Catarina. Esta depresión presenta relieves planos con pendientes entre 0 y 1% y se localiza aproximadamente a los 2,240 metros de altitud. Esta planicie está conformada por depósitos superficiales clásticos, los cuales corresponden a sedimentos mixtos del Holoceno de origen fluvio-lacustres.

En este paisaje se encuentran suelos desarrollados a partir de depósitos superficiales clásticos, sedimentos fluvio lacustres mixtos, correspondientes principalmente, al orden de los feozem, andosoles, gleysoles y solonchak. Estos suelos presentan propiedades particulares producto del material parental y de las condiciones ambientales. Las principales clases de suelos que se presentan son los feozem gleyco, feozem háplico, feozem calcarico, gleysol mólico, solonchak mólico, y Andosol húmico.

Los gleysoles y los feozem gleycos suelos tienen un contenido de materia orgánica menor de 5%, por sus características texturales retienen cantidades moderadas de agua y el drenaje natural que presentan es pobremente drenado.

Los solonchak mólicos son suelos con altas saturación de sales, alta saturación de bases. Los feozem háplico son altos en materia orgánica y con una alta saturación de bases y a diferencia de los solonchak no presentan acumulación de sales.

La planicies fluvio-lacustre es indudablemente la que más modificaciones han sufrido en su cobertura natural. Esta planicie estuvo ocupada por cuerpos lacustres con vegetación hidrófila, llanos cubiertos de extensos pastizales, matorral xerófilo y vegetación halófila en aquellas zonas emergidas y afectadas por sales y sodio. Es importante mencionar, que las zonas del antiguo cuerpo de agua presentaban una vegetación acuática muy rica y diversificada. En la actualidad, este paisaje está constituido, casi en su totalidad, por campos agrícolas, praderas ganaderas, vegetación halófila, vegetación herbácea, constituida por pastizales y pastizales halófilos, y centros rurales y urbanos.

Los tipos de cobertura anteriormente mencionados, al desarrollarse, han transformado y sustituido este paisaje lacustre causando la disminución y desecamiento de los cuerpos de agua, y con ello han aumentado las zonas afectadas por sales y sodio y el tipo de vegetación característico de estas zonas. Debido a este proceso de desecamiento se vienen desarrollando las actuales actividades agropecuarias donde se facilita, aún más, la posibilidad del crecimiento constante e incontrolado de los asentamientos.

El caso de las zonas agrícolas y pecuarias, el deterioro y modificación de la infraestructura hidráulica en las zonas bajas, tales como Tláhuac y la zona Chinampera de Xochimilco, aumenta cada vez más el riesgo a las inundaciones. Cabe señalar que, la subsidencia del terreno registrada en los últimos años, aumenta aún más el riesgo de que los efectos abarquen cada vez mayores extensiones. En cuanto a las zonas urbanas, el cambio en el uso de suelo de las partes altas, provoca un aumento en los volúmenes de escurrimiento, afectando a la población ubicada cerca de las márgenes de los cauces, así como aquellas zonas urbanas que reciben los aportes en sus sistemas de drenaje y que se ubican al pie de las partes de alta pendiente del terreno. Las zonas de baja pendiente y que se encuentran bajo la influencia de la subsidencia del terreno, mostrarán una creciente tendencia a inundarse, debido a la modificación de la red de drenaje.

Las inundaciones, situación que se presenta muy comúnmente en estas planicies, afectan de manera directa a los asentamientos irregulares que se ubican cerca o dentro de los cauces abandonados de los ríos y de las zonas lacustres. Además, la adecuación del terreno implica modificaciones a la sección hidráulica, reduciéndola y obstaculizándola, lo que induce a la formación de remansos que aumentan el riesgo de desborde, sobre todo en los tramos aguas arriba.

Unidades del sistema de paisaje colinado volcánico erosional. Esta región está conformada por un relieve de pequeños cuerpos volcánicos basáltico-

EOT-11-2010

andesíticos y conos volcánicos aislados de mediana altura, formados en diferentes edades. Los relieves de esta zona son principalmente fuertemente inclinados con pendientes 12-25% a ligeramente escarpados de pendientes 25-50% y algunas zonas se presentan relieves moderadamente inclinados con pendientes 7-12%. En el área de estudio este paisaje está representado por la sierra de Santa Catarina desarrollada sobre rocas basálticas del Cuaternario.

Otros cuerpos volcánicos basáltico-andesíticos están representados por elevaciones aisladas de los cerros de la Estrella y de los cuerpos dómicos basálticos ubicados en el sureste.

Los principales tipos de suelos que se presentan son: feozem háplico, feozem calcarico, litosol, andosol húmico y luvisol mólico.

En este paisaje de elevaciones menores se presentaba una cobertura de encinares y matorrales crasicaules e inermes. En la actualidad, al igual que en la zona anteriormente descrita, se presentan grandes cambios y transformaciones, inicialmente producto de actividades agropecuarias, mineras y, en otros casos, por asentamientos humanos.

5.3. Análisis de la expansión urbana

Analizando de manera más pormenorizada la matriz de cambios resultante de esta tabulación cruzada (tabla 10), encontramos en primer lugar que, como es habitual en cualquier análisis de cambios de usos del suelo, domina la persistencia en el paisaje de la región, pues según se desprende de los datos recogidos en la diagonal de la tabla, el 90% de la zona de estudio no ha experimentado ningún cambio entre las tres fechas. En el área las zonas urbanas aumentaron del 2000 al 2010 en solo un 3.71%.

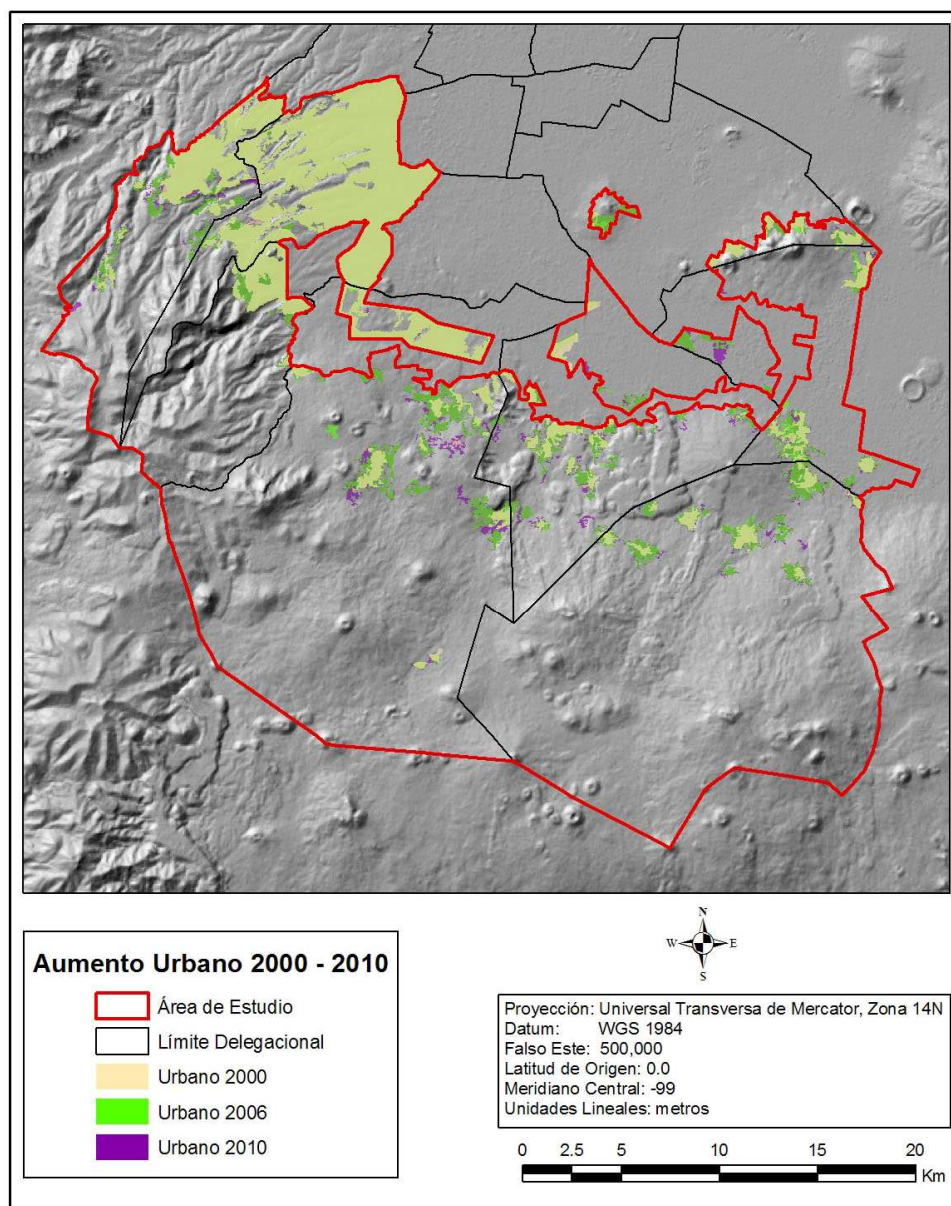


Figura 21. Crecimiento de las zonas urbanas.

Si atendemos a los cambios en términos de ganancias y pérdidas, son efectivamente las superficies urbanas las que mayor incremento han registrado, aglutinando el 37.24% de las ganancias experimentadas por el conjunto de todas las categorías entre 2000 y 2010. Estarían seguidas, por las agrícolas y los pastizales. Las zonas forestales también experimentan ciertas ganancias, aunque en general comprobamos que son las grandes perdedoras de la región.

Si analizamos a costa de qué otros usos se han producido las ganancias más importantes, comprobamos que las superficies artificiales han crecido,



EOT-11-2010

fundamentalmente, a base de terrenos agrícolas y pastizales, aglutinando los primeros casi el 80 por ciento de estas nuevas superficies. También podemos observar como, a pesar de que las zonas de pastizales y forestales han sufrido un retroceso entre las tres fechas, han experimentado intercambios positivos, básicamente entre ellas mismas. Así, hasta 1,118 ha de zonas forestales pasaron a ser zonas agrícolas en 2010. Por otro lado, un total de 219 ha ocupadas en diferentes usos en el 2000 han sido transformadas en zonas forestales en el 2010, lo que sin duda tiene unas connotaciones más positivas desde el punto de vista ambiental.

Si calculamos el porcentaje que supone la superficie ocupada por zonas forestales en la región sur de la ciudad, en las tres fechas, obtenemos que prácticamente es la misma (46% en 2000, 45% en el 2006 y 44% en 2010). Si no pudiésemos analizar con mayor profundidad los resultados podríamos haber concluido que prácticamente la superficie forestal no se ha modificado. Sin embargo la realidad es muy diferente, ya se trata de una categoría que ha registrado importantes intercambios y que por tanto ha experimentado una transformación substancial, especialmente si las relacionamos a que los cambios dados son en áreas de importancia para el capital hidrológico.

Si atendemos a la distribución espacial de todos estos cambios, comprobamos como la mayor parte de la transformación de terrenos agrícolas a superficies urbanas se produce en las inmediaciones de zonas urbanas ya consolidadas y en las cercanías de las principales carreteras y calles (figura 21).

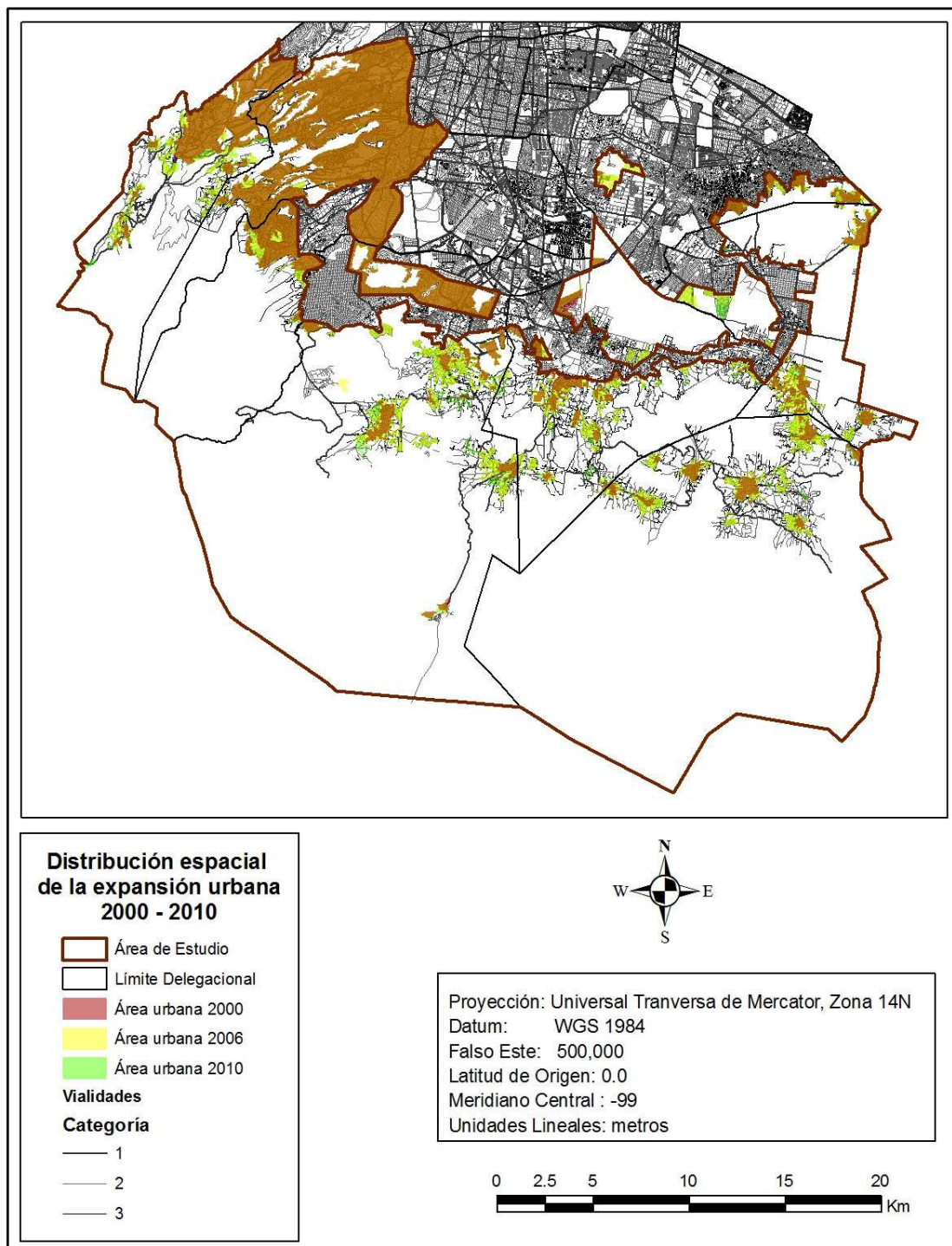


Figura 22. Distribución espacial de la expansión urbana 2000-2010.



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

Destaca también el importante proceso de deforestación que se ha llevado a cabo en las delegaciones de Cuajimalpa, Tlalpan y Magdalena Contreras. En cuanto al crecimiento urbano, el mayor crecimiento se ha dado en las delegaciones de Milpa Alta, Xochimilco y Tlalpan, con índices de expansión urbana entre 174 y 270. (Figuras 22 y 23).

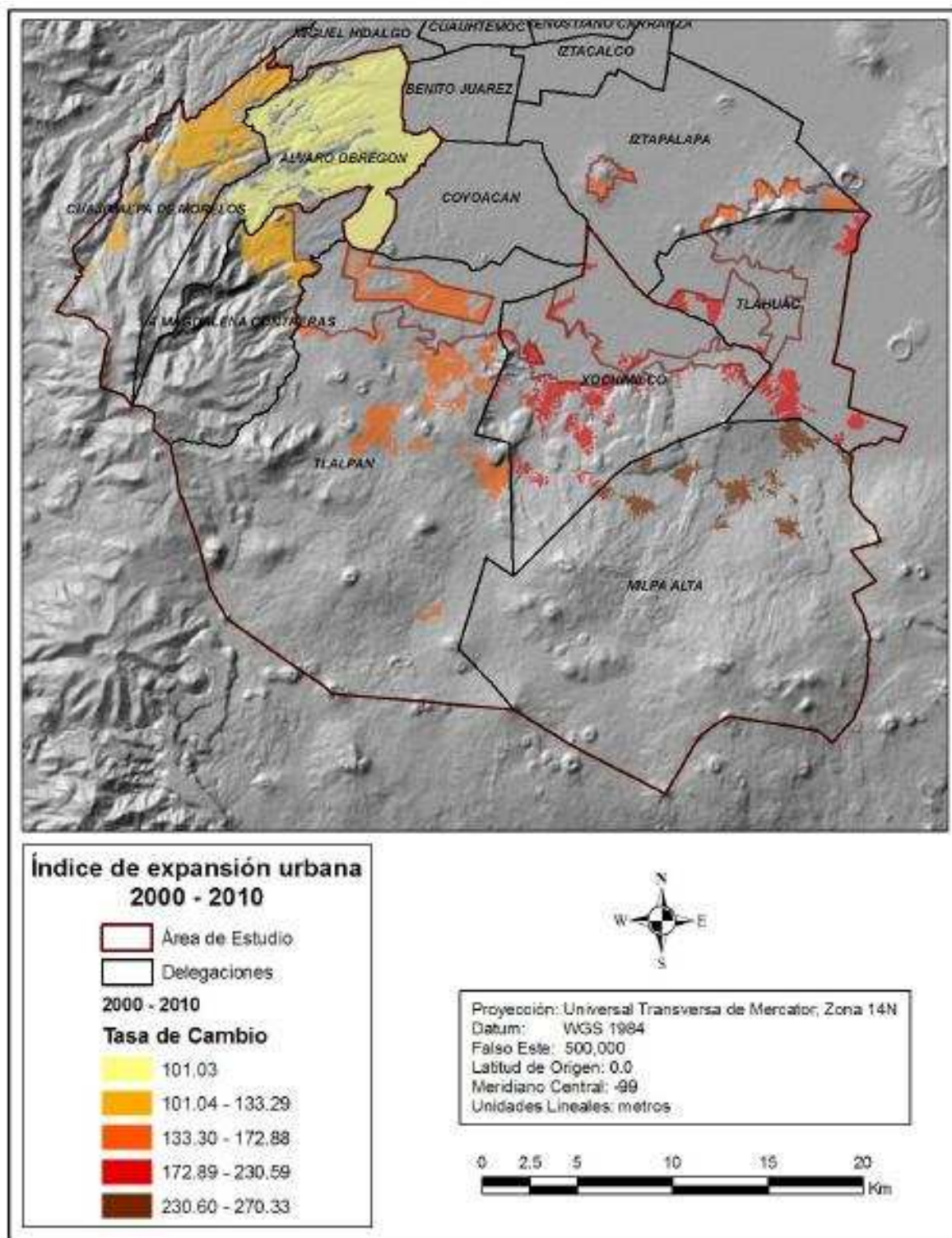
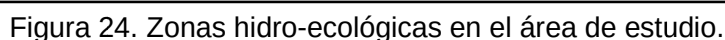


Figura 23. Índice de expansión urbana por delegación.

Para el análisis de la transformación del capital hidrológico-forestal de la Región sur de la Ciudad, se definieron 32 zonas, las cuales se definieron teniendo en cuenta aspectos del paisaje ecológico y las microcuencas de la región (Figura 24). Es importante mencionar que aunque las microcuencas que se ubican en el poniente de la Ciudad son prácticamente urbanas, los cambios de uso y cobertura que se dieron en la década estudiada, son de gran importancia para el análisis de transformación puesto que se dieron en áreas forestales y de pastos, las cuales son significativas en el cambio del capital hidrológico de la región.





El análisis de la transformación del capital hidrológico-forestal de la cuenca se hizo con base en dos procesos fundamentales del sistema hidrológico, la infiltración y la escorrentía. El marco conceptual para el análisis de los paisajes hidro-ecológicos, considera al sistema hidrológico completo: el agua tanto en la superficie como en el subsuelo, la interconexión entre ambos, y cómo son estos afectados por el cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo. En suma: se trata de saber cómo funciona el sistema hidrológico en los distintos paisajes de la microcuencas y cómo dicho sistema define los rasgos que caracterizan a sus distintos paisajes.

Se propone conocer los cambios en el uso del suelo, especialmente lo dados en las áreas forestales y en las zonas urbanas, y sus efectos sobre los patrones hidrológicos, a nivel de aguas superficiales y subterráneas, así como de los efectos de estos cambios sobre el capital hidrológico de la región.

Análisis de la escorrentía. Escorrentía directa es el agua que llega directamente a los cauces superficiales en un periodo corto de tiempo tras la precipitación, y que engloba la escorrentía superficial y la sub-superficial (agua que tras un corto recorrido lateral sale a la superficie sin llegar a la zona freática). Como se describió en el apartado de metodología se calculó la escorrentía media anual del área de estudio teniendo en cuenta el área de captación, la cual es la cantidad de agua obtenida por la precipitación por el área de territorio (unidad hidro-ecológica). Los resultados obtenidos de este análisis se presentan en la figura 25.

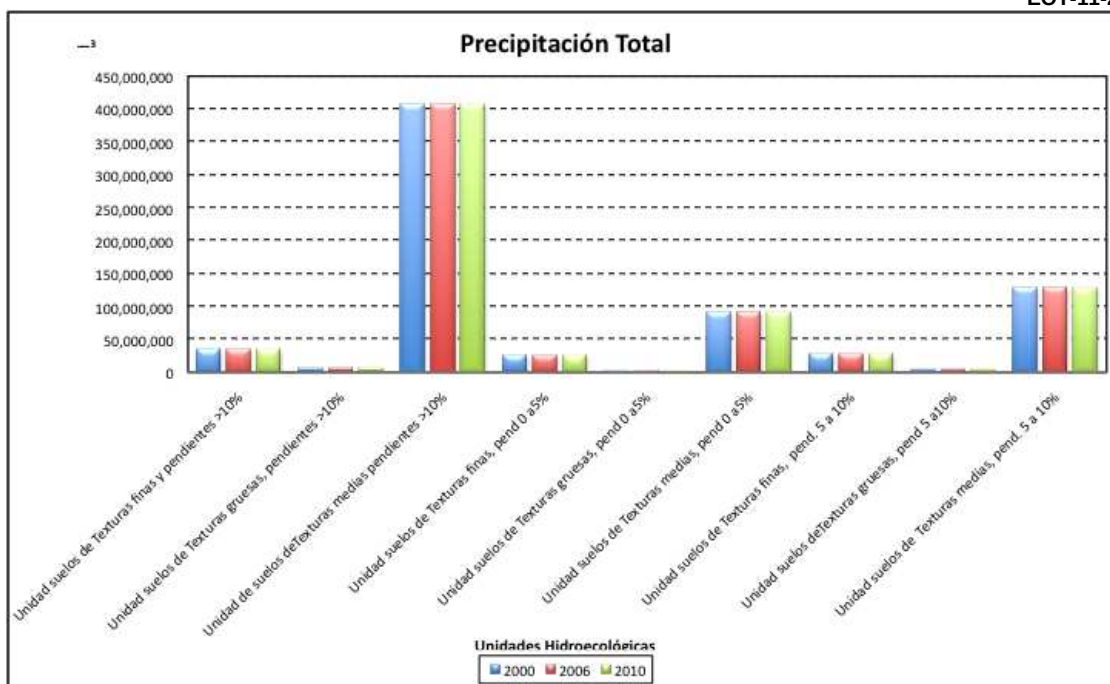


Figura 25. Captación por unidad hidro-ecológica.

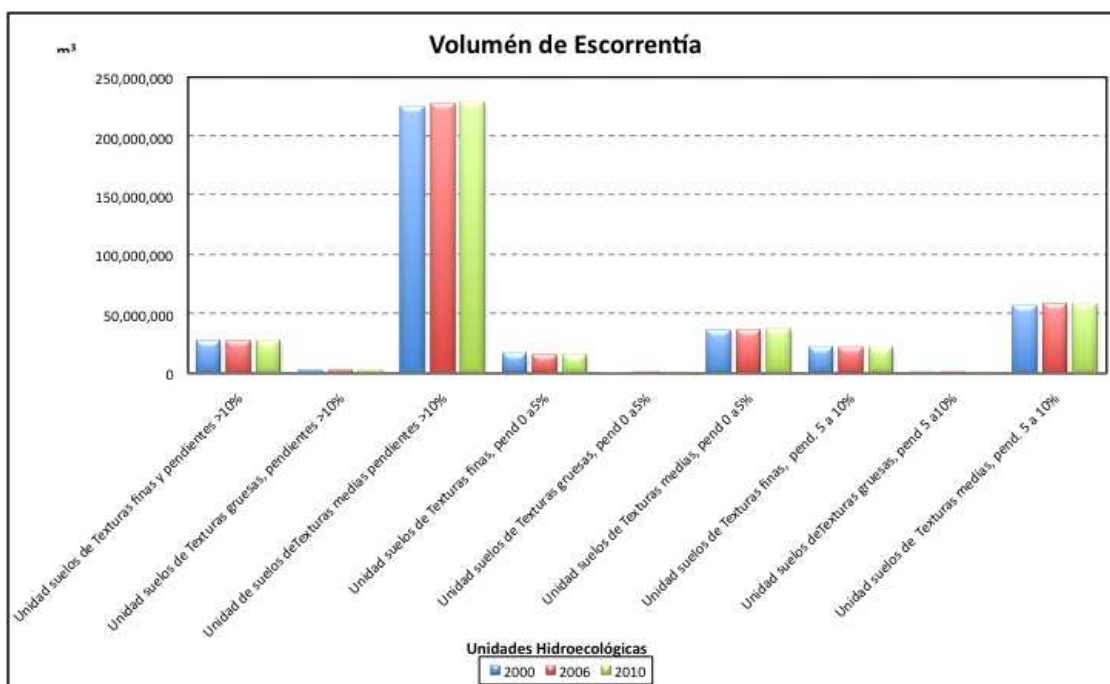


Figura 26. Volumen de escorrentía por unidad hidro-ecológica.

Las zonas de paisajes con pendientes mayores de 10% y suelos de texturas finas tienen los valores de escorrentía media anual más altos (456 mm), sin embargo estas unidades tienen un volumen total de escorrentía de 258,535,313 Mmm³, puesto que se presentan en menor proporción en toda el área, su tasa de escorrentía del 80%, es importante anotar que estas unidades son justamente las unidades donde se dan los mayores volúmenes de captación. La zonas de mayor representación en toda el área están conformadas por unidades hidro-ecológicas de pendientes mayores al 10% y suelos de texturas medias (figura 22). En todos los casos donde los suelos presentan textura finas y suelos superficiales las tasas de escorrentía son altas, van de un 80% a un 68% en el área de estudio (figura 23). De acuerdo al análisis de cambio en las unidades hidro-ecológicas, no se aprecia una relación directa entre el cambio en los volúmenes de escorrentía y la disminución de las áreas forestales, esto permite deducir que los volúmenes de escorrentía no varían debido a que los cambios en las áreas forestales durante la década estudiado son mínimos y no representan cambios significativos. Por otra parte se podría decir que los cambios en la escorrentía dentro de las unidades hidro-ecológica están más relacionados las pendientes y las texturas de los suelos, puesto que los volúmenes de escorrentía aumentan en las zonas de mayor pendiente y de suelos con texturas media a fina, siendo los suelos los que más inciden en este aumento (Figuras 27 y 28).

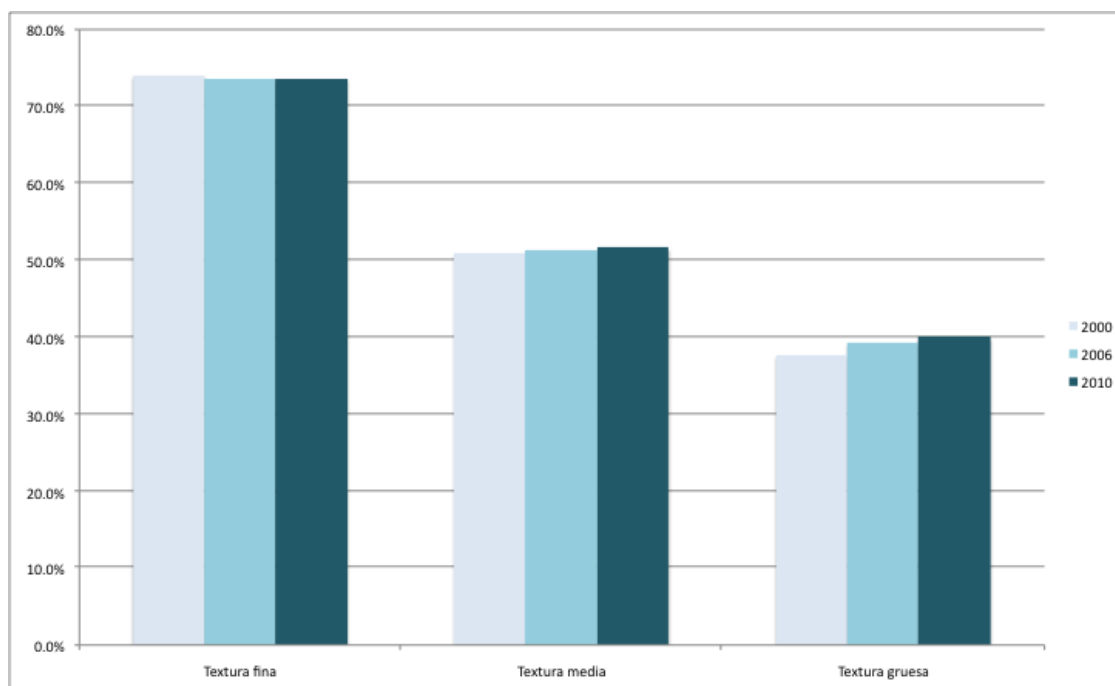


Figura 27. Relación porcentaje de escorrentía y textura de suelos en el área de estudio.

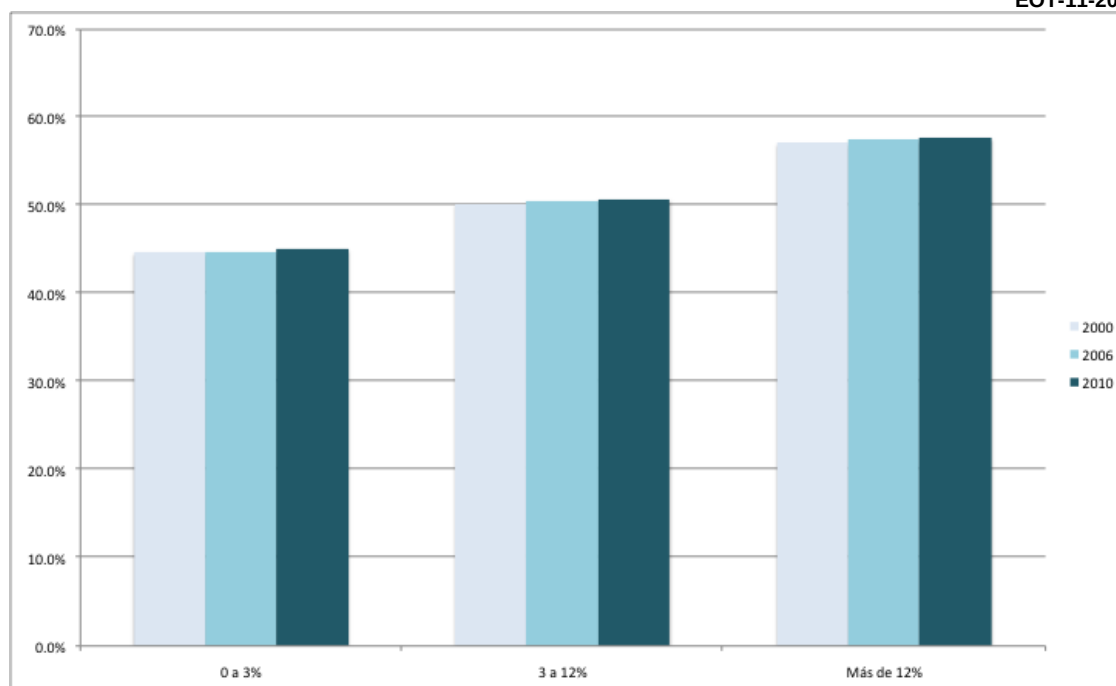


Figura 28. Relación porcentaje de escorrentía y pendiente en el área de estudio.

Es de destacar que las áreas de coberturas urbanas presentan las mayores escorrentías, los volúmenes de escorrentía aumentaron de 55,895,886 Mm³ en el año 2000 a 72,430,034 Mm³ en el año 2010 debido al crecimiento urbano, destacándose que las áreas de las zonas urbana crecieron en unidades de pendientes mayores al 12% y suelos de texturas medias a finas.

La tasa de escorrentía de toda la zona de estudio no tuvo cambios relevantes, sin embargo en términos de distribución geográfica y en la distribución de la tasa de escorrentía por unidades hidro-ecológicas se ven cambios, entre el año 2000 y el 2010, como es el caso de las delegaciones Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta, debidos principalmente a los cambios en el uso del suelo (figuras 29 y 30).

La delegación Cuajimampa de Morelos tiene cambios importantes en los volúmenes de escorrentía, la tasa de escorrentía paso de media a alta en el poniente de la delegación y en algunas pequeñas áreas del noroeste paso de alta a muy alta.

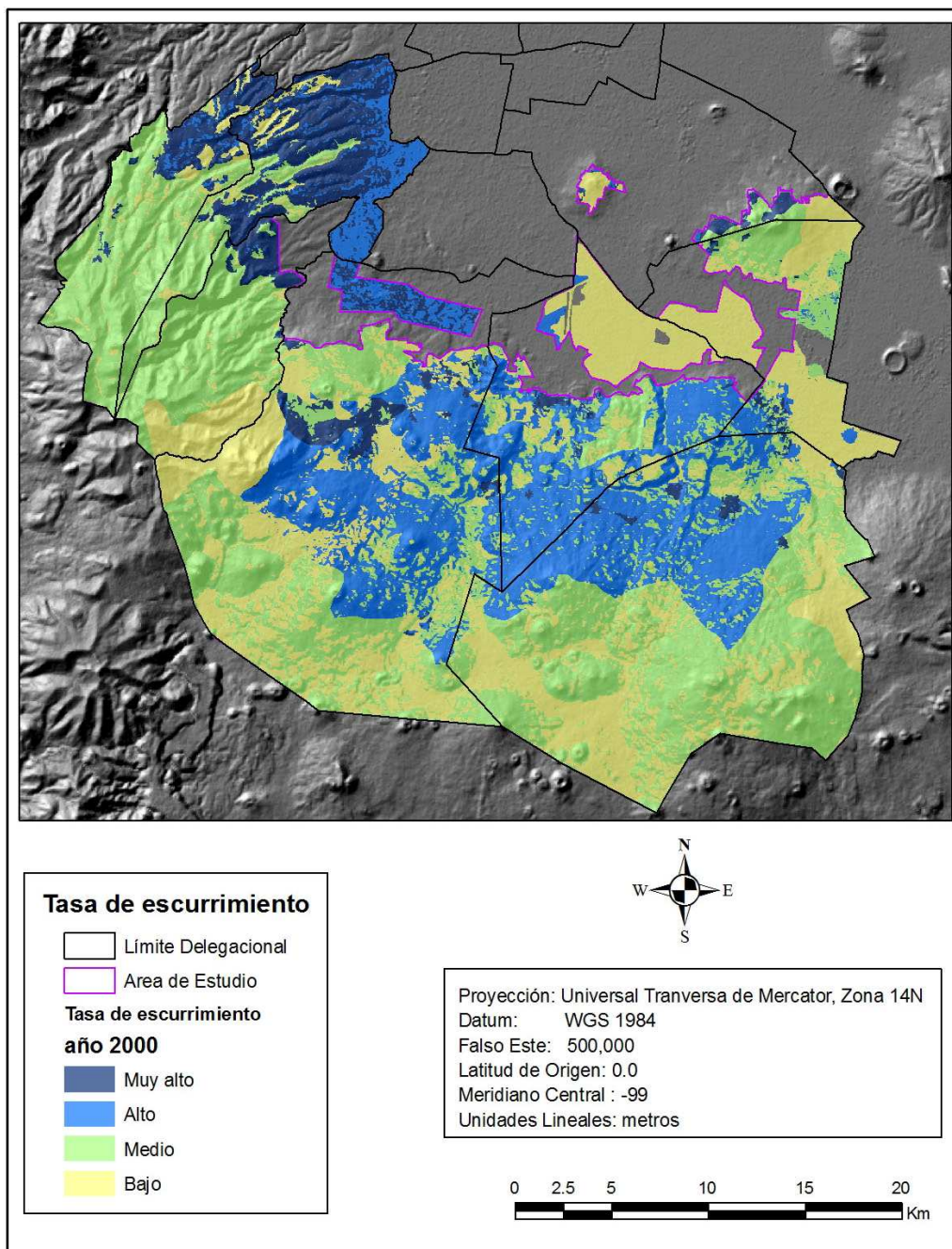


Figura 29. Mapa de tasa de escurrimiento año 2000.

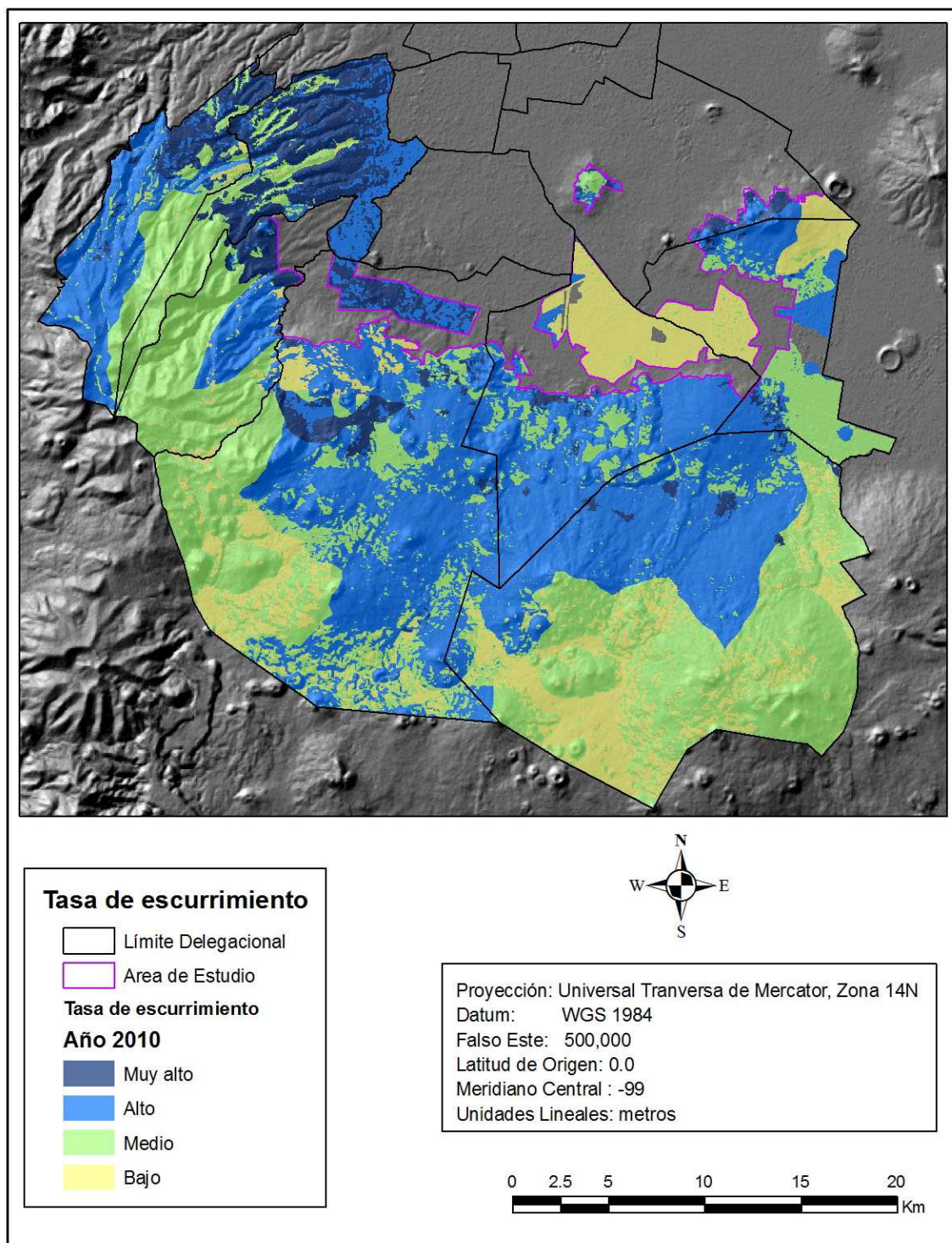


Figura 30. Mapa de tasa de escorrentía del año 2010.



Los índices de transformación del capital hidrológico forestal se calcularon con base en el año 2000, que es el año base para el estudio de cambios de cobertura y uso (figura 31). De acuerdo a este índice las transformaciones en el capital hidrológico escorrentía base 2000, no fueron significativas debido a que los cambios de uso del suelo dentro de la década estudiada no representan cambios importantes. Sin embargo es de destacar las delegaciones de Tlalpan, Magdalena Contreras y Xochimilco tuvieron aumentos bajos y se presentan pequeñas áreas con aumentos altos en las delegaciones de Cuajimalpa de Morelos y Tlahuac. Estos aumentos en la escorrentía están relacionados a los cambios dados en el uso del suelo en pequeñas áreas, donde las zonas de pastos y de agricultura se transformaron en áreas urbanas entre el año 2000 y el 2010.

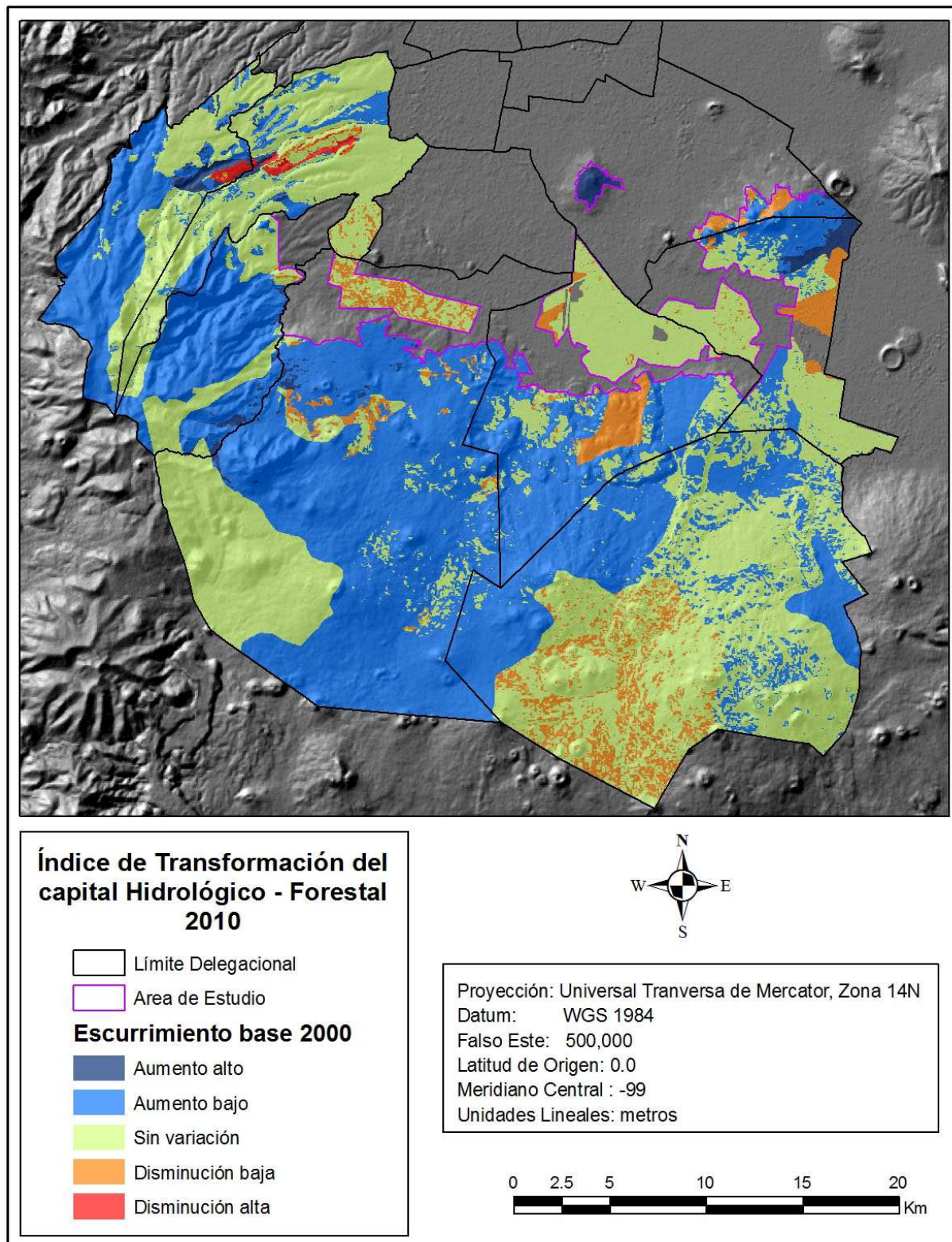


Figura 31. Índice de transformación del capital hidrológico-forestal. Escorrentía base 2000.

Análisis de la Infiltración. El análisis de la infiltración en el ciclo hidrológico es de importancia básica en la relación entre la precipitación y el escurrimiento, La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo. Este proceso es de gran importancia para la medición del capital hidrológico de una cuenca.

De acuerdo con los resultados obtenidos los mayores volúmenes de infiltración se dan en las unidades hidro-ecológicas que tiene pendientes que van de 3 a 12% y los suelos con texturas medias a gruesas, donde la cobertura principal es de bosques, seguida de las coberturas de pastos y matorrales (figura 32). Los volúmenes de infiltración más bajos se encuentra en unidades con pendientes mayores del 50% y suelos de texturas finas, donde el uso de suelo es el urbano. Esto explica claramente como el crecimiento urbano en zonas de alta pendiente no permiten que el agua de lluvia se infiltre y genere en cambio procesos de escorrentía mayores. Contrario es el caso de la unidades hido-ecológicas donde la coberturas forestales y los matorrales permite que la infiltración sea mayor, sin embargo si estas se encuentran en zonas de pendientes altas y de suelos con texturas finas, su presencia no produce grandes cambios en los valores netos de infiltración.

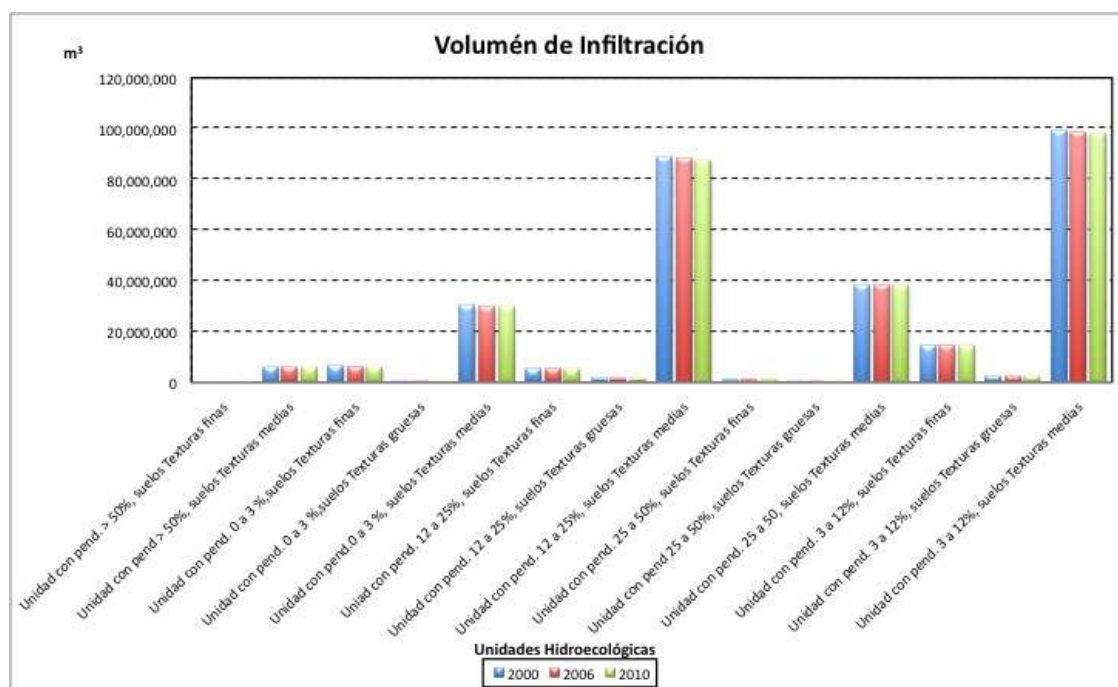


Figura 32. Volúmenes de infiltración por unidad hidro-ecológica. Años 2000, 2006, 2010.

Las tasas de infiltración del años 2000 al año 2010 bajaron de 725Mm³ a 724 Mm³, sin representar cambios significativos en el total del área de estudio, sin embargo se aprecian cambios importantes si observamos la distribución de las tasas por microcuenca y por unidad de paisaje, donde los cambios más importantes en el periodo estudiado se dieron en áreas de las microcuencas Río Tacubaya, Cerro de la Estrella y Tlaloc (Figura 33).

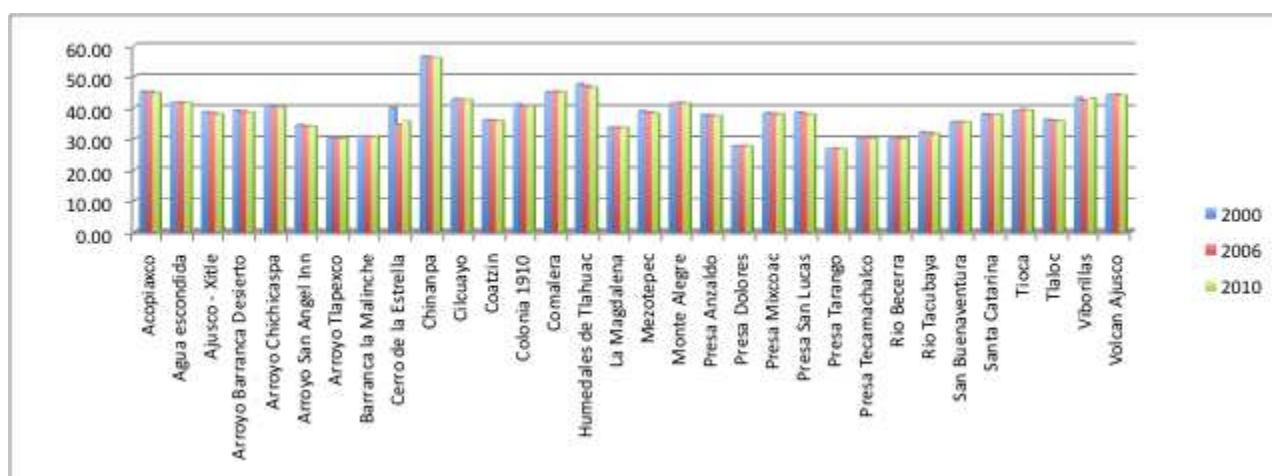


Figura 33. Distribución de la tasa de infiltración en las 32 zonas. Años 2000,2006 y 2010.

Si observamos las tasas de infiltración por unidad hidro-ecológica, encontramos que la tasa de infiltración más baja se da en las unidades con pendientes mayores del 25% y suelos de texturas finas, es así como los cambios principales se dan en las zonas donde la cobertura cambio de uso (agricultura y pastos) a urbano (Figuras 34 y 35).

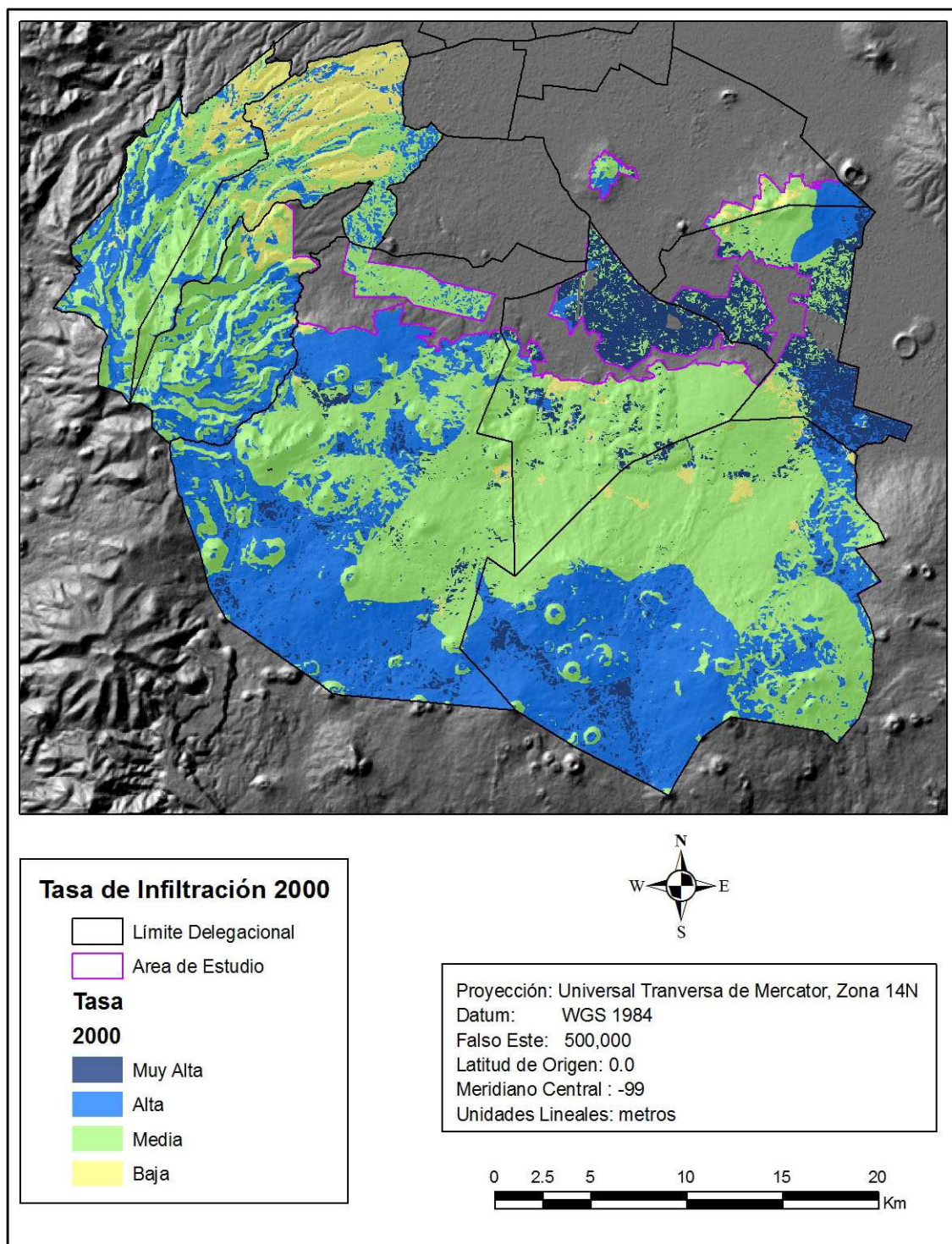


Figura 34. Tasa de infiltración año 2000.

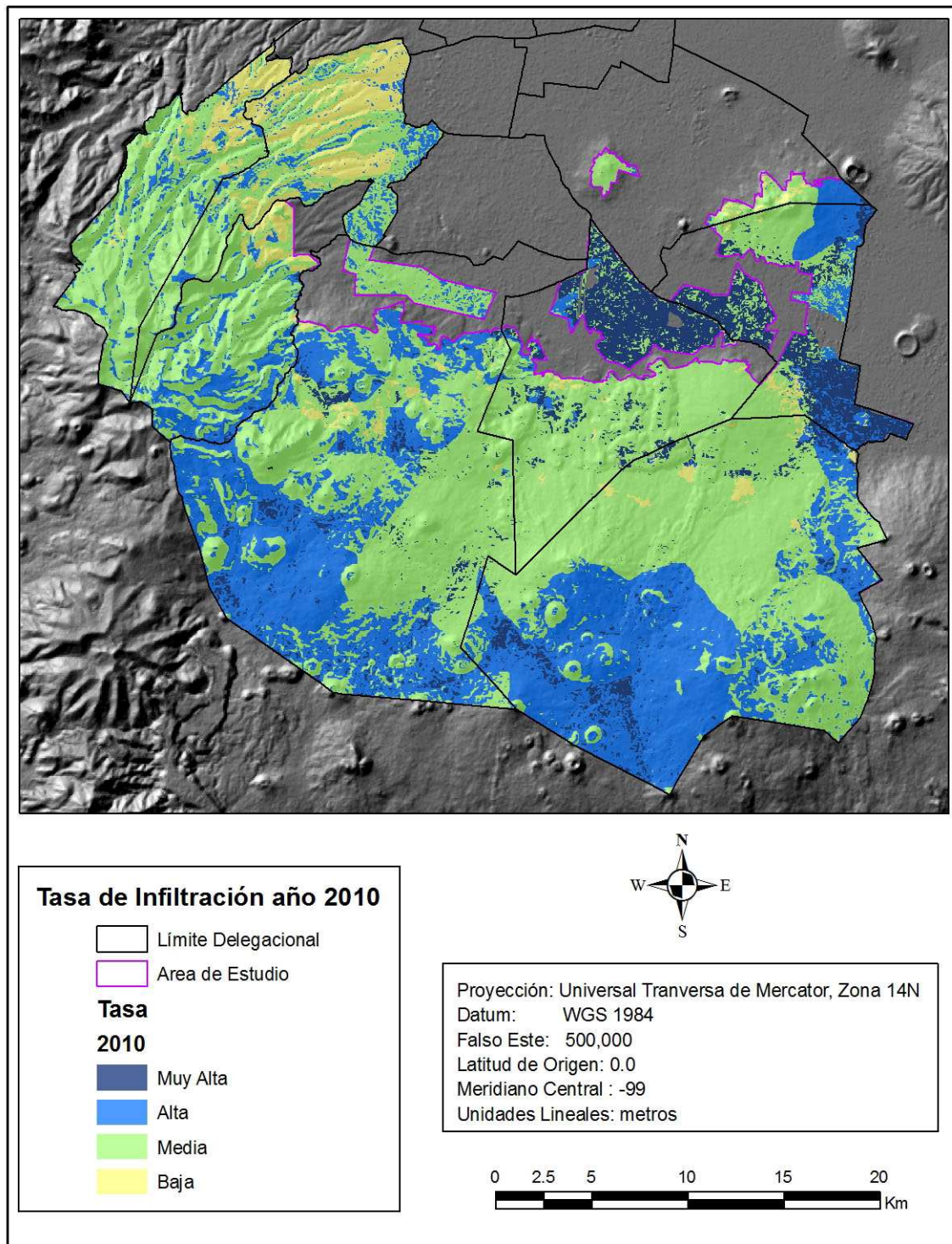


Figura 35. Tasa de infiltración año 2010.



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

El índice de transformación del capital hidrológico Forestal, infiltración base 2000 muestra cambios de importancia en las zonas de las delegaciones Tlalpan, Cuajimalpa de Morelos y Tlahuac (Figura 36). En Tlalpan las microcuencas que presentan los mayores cambios en la tasa de infiltración son Arroyo Chichipanga y Mezotepec, estos cambios se deben básicamente a que los cambios en el uso del suelo en zonas de pendientes que superan los 25% y el cambio de uso de suelo se dio de agricultura a suelo urbano y de bosques a agricultura.

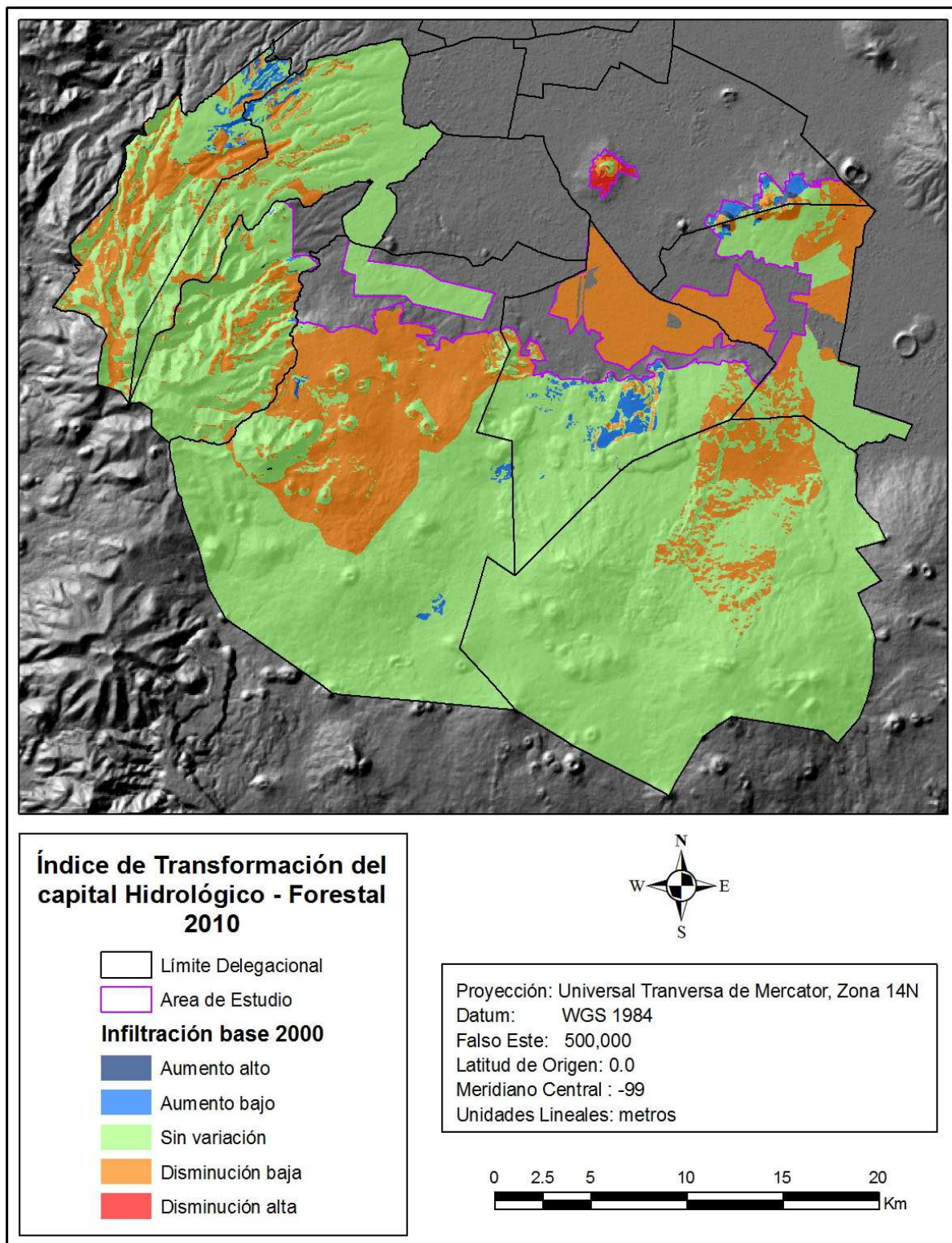


Figura 36. Índice de transformación del capital Hidrológico-Forestal. Infiltración base 2000.



6. ANÁLISIS DE LA REGIÓN SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Cerca de la tercera parte de la superficie total de la región sur de la Ciudad, donde se dan los procesos de recarga-infiltración del agua, son calificadas con un potencial que va de moderado a alto, y poco menos de una cuarta parte es calificada con potencial bajo a muy bajo, lo que significa, desde el enfoque territorial que existe una extensa zona abastecedora de agua en esta Región.

De acuerdo a los resultados del presente estudio, en la última década los cambios dados en la región en términos de disminución de los bosques, menos del 5%, y expansión de las zonas urbanas, menos del 4%, no son representativos, para un período de diez años en una zona sometida a importantes presiones urbanas. Esto conlleva a que los cambios que se presentan en el capital hidrológico sean de menor magnitud, sin representar grandes desafíos por lo menos en lo que se refiere a la protección y restauración de los ecosistemas forestales.

Por otra parte, el bosque circundante a la Ciudad de México es un bosque vivo y activo, de acuerdo al análisis de cambios de la cobertura y uso del suelo, en los últimos 10 años, podemos decir que se ha conseguido un equilibrio en estos ecosistemas. Sin embargo, se hace necesario mantener este equilibrio, ya que un poco más del 82% de los bosques que quedan en la zona, están en las categorías de alta capacidad de recarga y están cumpliendo no solo con su función ecosistémica, si no como factor regulador de las funciones hidrológicas del zona de captación. Lo anterior, indica la necesidad de continuar con la protección de los bosques y sobre todo apunta a la necesidad de enfocar la política hacia un manejo sustentable de estas importantes áreas forestales.

Las coberturas que ahora están en riesgo de transformación son las agrícolas, los matorrales y pastizales. Siendo ambientalmente las más importantes, las área de pastizales, los cuales deben ser conservados como tales, y no reforestados pero tampoco degradados a terrenos agrícolas. Los terrenos agrícolas y matorrales (posiblemente áreas ganaderas) requieren un manejo de conservación con fines productivos como cultivos multianuales, plantaciones forestales, sistemas silvopastoriles, áreas forrajeras y bancos de proteínas, etc. Esa debe ser la nueva política de intervención sobre el uso del suelo para los próximos 10 años.

Según la cifras obtenidas las zonas urbanas han crecido del año 2000 al 2010, solo en un 3.7%, lo cual significa una expansión menor de estas áreas, la cuales se ha dado debido al proceso normal de crecimiento de zonas ya consolidadas. Un aspecto que cabe destacar en este proceso de crecimiento es la necesidad de atender la expansión dada en los asentamientos irregulares de las delegaciones Milpa Alta, Xochimilco y Tlalpan, puesto que es en esta zona donde se presentan los índices de expansión más altos de la región.



Como ya se mencionó, los cambios dados en la cobertura vegetal dentro de la región no han sido representativos en total del área, sin embargo si observamos estos cambios relacionados con la microcuencas del área y la unidades de paisaje, podemos ver como pequeños cambios en la cobertura y el uso del suelo, durante el periodo de 10 años estudiado, han generado cambios en los procesos de infiltración y escorrentía de la región. Especialmente, los procesos de urbanización que aunque en términos de área no son tan extensos, han modificado la respuesta hidrológica de las zonas de captación, debido a la urbanización en zonas de pendientes altas lo que conlleva a una alteración de las redes de drenaje natural y a un incremento de las zonas impermeables en superficie.

Las microcuencas más afectadas por los cambios de uso del suelo son Río Tacubaya en la delegación Álvaro Obregón, Mexotepec en la delegación Tlalpan y Comalera en Milpa Alta. Otra de las zonas bastante afectada por el cambio de uso es el Cerro de la Estrella donde se dio un intenso crecimiento urbano y los volúmenes de escorrentía aumentaron para el año 2010.

Por otra parte, la infiltración en las coberturas forestales y los pastizales muestra que esos sistemas están cumpliendo con esta parte de los servicios ambientales, por consiguiente son bosques y praderas con buena funcionalidad. Por el contrario, las áreas urbanizadas con pendientes de 15% o menos, tienen una alta escorrentía y una baja infiltración, lo que implica la construcción de obras civiles de regulación de los flujos horizontales de agua. Bordos, canales superficiales, cárcamos, tinas ciegas, sitios de recarga debidamente ubicados y desazolvados. La urbanización a tenido un costo ambiental que puede resarcirse con obras civiles para infiltración de agua.

En este contexto, la explotación y ordenamiento de los recursos forestales y por ende de los servicios ecosistémicos que estos puedan dar, en especial los relacionados a los recursos hídricos, sigue siendo un factor fundamental de los esfuerzos en pos del crecimiento y el desarrollo sustentable de la ciudad. Esta tarea requiere de fuertes inversiones en infraestructura, instituciones y capacidad de gestión. En este sentido, la gestión que se ha llevado a cabo en los últimos 20 años de los recursos forestales en la Suelo de Conservación, ha dado como resultado un equilibrio ecosistémico en estas áreas y en consecuencia una estabilidad en el capital de hidrológico de la región sur de la ciudad. Sin embargo los procesos de urbanización, el cambio en el uso del suelo y las modificaciones de la estructura en el sector terciario de esta importante región de la ciudad, generan aún desafíos que siguen siendo objeto de atención y que implican disponer de un programa integral de asistencia, que permita aumentar progresivamente el ordenamiento de los recursos hídricos y la construcción de infraestructura para mejorar la seguridad hídrica y ambiental de la ciudad.



7. BIBLIOGRAFÍA

Alberti, M. y J. Marzluff. (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human ecological functions. Urban Ecosystems.

CORENA. (2000). Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal 2000-2003.

ERDAS-Help, (2010). Program Files\ERDAS\ERDAS Desktop 2010 \help\html\Mosaic_Pro\ColorCorrections.html

Gao J. 2009. Digital Analysis of Remotely Sensed Imagery. McGraw-Hill Companies, Inc.

García-Romero. A. (2004). Dinámica del paisaje post-fuego en el pastizal tropical de alta montaña. Volcán Iztaccíhuatl, México. INCI, vol.29, no.11. ISSN 0378-1844.

Gobierno del Distrito Federal. (2002). Estadísticas del medio ambiente del DISTRITO FEDERAL y zona metropolitana. Recursos naturales y servicios ambientales. Volumen 2.

Gobierno del Distrito Federal. (2000). Programa General de Ordenamiento Ecológico.

Hall, D. L. (1992). Mathematical techniques in multisensor data fusion (Norwood: Artech House Inc.).

Ley Ambiental del Distrito Federal, (2000). Gaceta oficial del Distrito Federal.

López L. D. (2010). Percepción remota y procesamiento digital de imágenes. Análisis digital de imágenes. Notas de clase – Versión 1.0, México, D.F (sin publicar).

Lu D., Mausel P., Brondizio E. And Moran E. (2004). Change detection techniques. INT. J. Remote Sensing, vol. 25, no. 12.

Luck, M. y J. Wu. (2002). A gradient analysis of urban landscape pattern: a case of study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. Landscape Ecology.

Matteucci, S.D. (1998). La cuantificación de la estructura del paisaje. En: Matteucci, S.D. y G.D. Buzai (Eds.) Sistemas Ambientales Complejos: Herramientas de Análisis Espacial. EUDEBA, Buenos Aires.

McDonnell, M.J.; S.T.A Pickett; P. Groffman y P. Bohlen. (1997). Ecosystem processes along an urban-rural gradient. Urban Ecosystems.



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

McGarigal y Marks. (1994). Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference manual. For. Sci. Dep. Oregon State University. Corvallis Oregon.

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. (2009). Estudio sobre la zona chinampera y demás afectadas de las delegaciones Xochimilco, Tlahuac y Milpa Alta por la proliferación de asentamientos humanos irregulares en materia de afectaciones al medio ambiente y el Ordenamiento Territorial.

Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal. (2000). Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural. Gobierno del Distrito Federal.

Programa delegacional de desarrollo urbano Álvaro Obregón. (1997). Diario Oficial de la Federación.

Programa delegacional de desarrollo urbano Cuajimalpa de Morelos. (1997). Diario Oficial de la Federación.

Programa delegacional de desarrollo urbano La Magdalena Contreras. (2005). Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Programa delegacional de desarrollo urbano Milpa Alta. (1997). Diario Oficial de la Federación.

Programa delegacional de desarrollo urbano Tlahuac. (1997). Diario Oficial de la Federación.

Programa delegacional de desarrollo urbano Tlalpan. (2010). Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Programa delegacional de desarrollo urbano Xochimilco. (2005). Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Plata R. W., Gómez D. M., Bosque S. J. , (2009). Cambios de usos del suelo y expansión urbana en la comunidad de Madrid (1990-2000). Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Universidad de Barcelona. Vol. XIII, núm. 293.

Rzedowski, J., (2006). Vegetación de México. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.

Rzedowski y Rzedowski, (1979). "Flora fanerogámica del Valle de México" Vol 1. Ed. CECSA. México, D.F

Secretaría de Medio Ambiente del D.F., (2002). Estudio de integración de un sistema de pagos por servicios ambientales mediante su articulación con una estrategia de captura de carbono en las zonas del suelo de conservación del Distrito Federal. Sin publicar.



PROCURADURÍA AMBIENTAL
Y DEL ORDENAMIENTO
TERRITORIAL DEL D.F.



EOT-11-2010

Shen, S. S., (1990). Summary of types of data fusion methods utilized in workshop papers. Multisource Data Integration in Remote Sensing, Proceedings of Workshop, Maryland, U.S.A., 14± 15, NASA Conference Publication 3099 (Greenbelt, MD: NASA).

Schosinsky, G. (2007). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Costa Rica, Escuela Centroamericana de geología / Universidad de Costa Rica.

Sistema de Aguas de la Ciudad de México, (2004). Análisis del comportamiento hidrológico de cuatro cuencas del poniente del valle de México, programa de visualización de isoyetas y asesoría sobre dos programas de infiltración. Informe final de Dominguez Mora R., et al.

Stupino S. A., Arturi M. F. y Frangi J. L. (2004). Estructura del paisaje y conservación de los bosques de Celtis tala Gill ex Planch del NE de la provincia de Buenos Aires. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata.

UNESCO, Gobierno del Distrito Federal y Delegación Xochimilco. (2006). Xochimilco, Un proceso de gestión participativa. México, D.F.

Zhang, L.; J. Wu ; Y. Zhen y S. Jiong. (2004). A GIS- based gradient analysis of urban landscape pattern of Shanghai metropolitan area, China. Landscape and Urban Planning.

Zonneveld, I.S. (1988). Landscape Ecology and its application. Wageningen, The Netherlands.