

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GEOGRAFÍA Y
GEOMÁTICA <<ING. JORGE L. TAMAYO>>, A.C.
CentroGeo**

Centro Público de Investigación CONACYT

**ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL CAMBIO DE USO DE SUELO POR
EXPANSIÓN URBANA-MIGRACIÓN-DEFORESTACIÓN EN EL SUELO
DE CONSERVACIÓN DEL DISTRITO FEDERAL**

TESIS

Que para obtener el grado Académico de:
Maestro en Geomática

PRESENTA
VÍCTOR HUGO AQUINO ILLESCAS

Supervisor Principal:
Dr. José Luis Silván Cárdenas

Comité Supervisor:
Dr. Gustavo Manuel Cruz Bello

Comité Supervisor:
M. en G. Camilo Alberto Caudillo Cos

México, Distrito Federal, Junio 6 del 2013

© CentroGeo. Derechos reservados. El autor otorga a CentroGeo el permiso de reproducir y distribuir copias de esta tesis en su totalidad o en partes.

RESUMEN

Algunas zonas urbanas continúan expandiéndose rápidamente debido al crecimiento demográfico y la migración. Con el rápido crecimiento urbano de la ciudad de México en las últimas décadas, la comprensión de su composición urbana y su dinámica forestal se convierten en un importante tema de investigación.

El presente trabajo de investigación en Geomática da paso al análisis de la composición urbana, la dinámica forestal y la inmigración de personas del Suelo de Conservación de la ciudad de México que está caracterizado por diversos cambios en el uso de suelo como resultado de la expansión urbana que ha venido sufriendo en las últimas décadas. Consecuentemente, aparecen nuevos patrones ambientales y socio-espaciales como resultado de la transición demográfica de una ciudad centralizada a una ciudad multi-dispersa. Por consiguiente, la comprensión y el monitoreo del cambio de cobertura y uso de suelo y vegetación se están convirtiendo cada vez más en tema importante de investigación que involucra una gran variedad de disciplinas, tal es el caso de la geografía y la geomática.

Para analizar la composición urbana y forestal y la dinámica migratoria del Suelo de Conservación, se combinan imágenes satelitales con datos censales. Las tecnologías de Percepción Remota y el uso de Sistemas de Información Geográfica introducen una base científica que permiten examinar la composición urbana y registrar sus cambios a través del tiempo. Se examina la utilidad del método *SMACC* en un nivel de análisis subpíxel sobre un conjunto de imágenes *Landsat 5 TM (Thematic Mapper)* para estimar cinco componentes claves en un entorno urbano: vegetación arbórea, cultivos y barbecho, superficie impermeable, vegetación arbustiva y humedales.

De esta manera, los resultados del análisis de la composición urbana y forestal del Suelo de Conservación muestran una relación significativa con los datos demográficos dentro del área de estudio entre los periodos analizados y, por lo mismo, permiten concluir que este acelerado crecimiento urbano reconoce que la inmigración hacia el interior del Suelo de Conservación juega un rol importante en el proceso de expansión y atomización urbana.

Palabras clave: Dinámica y estructura urbana, deforestación, inmigración, imágenes satelitales, censos de población.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento más sincero al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado para la realización y culminación de este trabajo de Tesis de Maestría;

Al Centro de Investigación en Geografía y Geomática, “Ing. Jorge L. Tamayo”, AC Centro GEO, por brindarme la oportunidad de realizar estudios de especialización y maestría en Geomática, aportándome recursos materiales y humanos;

Al Dr. José Luis Silván Cárdenas, por compartir su valioso tiempo y disposición, sus conocimientos, observaciones y su paciencia. Le agradezco su invaluable ayuda;

Al grupo de Sinodales, Dr. Gustavo M. Cruz Bello y al M. en G. Camilo Alberto Caudillo Cos, por su valioso tiempo en la revisión del manuscrito y a sus importantes comentarios en las correcciones, con el fin de reestructurar, fortalece y presentar de mejor manera el documento final.

De igual forma, a cada una de las personas que integra el cuerpo docente de la Especialización y Maestría, del Centro GEO;

Por último, a mis compañeros que durante mi estadía en el centro de investigación compartieron conmigo gratos momentos y experiencias, y que en el transcurso del tiempo se convirtieron en mis amigos...

“La culminación de este proyecto de investigación significa, personalmente, una etapa alcanzada más en el camino de la superación personal y profesional; es la cristalización de un esfuerzo. Gracias a todos ustedes”.

DEDICATORIA

Me siento profundamente agradecido a *Dios*, porque hoy me ha permitido llegar hasta estas instancias con la culminación de mis estudios de Maestría, iluminando siempre mi mente y mi corazón para cumplir con éxito una etapa más de mi vida personal y profesional. Le agradezco su infinita protección y bendiciones;

A mi familia, porque son la base y los cimientos de mi vida, son los seres que más amo en este mundo, a mis padres, *Miguel Ángel* y *Teresa*, mis hermanas, *Sonia*, *Marissa* e *Ivonne Belem*, mi hermano, *Juan Carlos*, y a mi cuñada, *Susana*, porque siempre me han apoyado en todo el trayecto de mi carrera profesional, porque nunca me han abandonado en los momentos de dificultad, porque siempre tienen un palabra de aliento, porque me muestran el valor de la unión y el amor familiar que siempre nos ha caracterizado. Para mí son los mejores seres humanos y les agradezco siempre estar conmigo a cada instante, este logro es de nosotros, es de ustedes también;

Y de manera muy especial, este esfuerzo lo dedico a mis sobrinos, *Ángel Diego*, *Juliana*, *Ibi Eluney*, *Erik Alonso*, *Daniel*, y a mi hijo *Huguito*, para hacerles hincapié en lo siguiente: “*para el logro del triunfo siempre ha sido indispensable pasar por la senda de los sacrificios*” (Simón Bolívar). Ellos también son mi fuente de inspiración y el motivo de continuar siempre hacia adelante tratando de ser mejor ser humano cada día.

ÍNDICE

RESUMEN	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	ix
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos de la investigación	7
1.1.1. Objetivo general	7
1.1.2. Objetivos específicos	7
1.2. Estructura de la tesis	7
CAPÍTULO II	9
2. ANTECEDENTES	9
2.1. Antecedentes sobre cambio de uso de suelo, expansión urbana, migración y deforestación	9
2.1.1. Definiciones claves	11
2.1.2. Investigaciones y estudios de caso: panorama mundial y regional ...	22
2.1.3. Investigaciones y estudios de caso: México, ciudad de México y el Suelo de Conservación	27
2.2. El área de estudio: descripción y análisis de las características biológicas, ambientales, socio-demográficas, socio-económicas y marco jurídico ambiental del Suelo de Conservación del Distrito Federal	31
2.2.1. Características generales del área de estudio	31
2.2.2. Características biológicas y ambientales	35
2.2.3. Dinámica demográfica y condiciones socio-económicas de la población en delegaciones que poseen suelo de conservación	45
2.2.4. Normatividad y protección ambiental en el Suelo de Conservación ...	61
CAPÍTULO III	65
3. MATERIALES Y MÉTODOS	65
3.1. Métodos cualitativos y métodos cuantitativos de esta investigación	65

3.1.1. Métodos cualitativos	65
3.1.2. Métodos cuantitativos.....	66
3.2. Materiales.....	67
3.3. Modelos y técnicas en el procesamiento de las imágenes satelitales	68
3.3.1. Apilamiento y recorte de imagen	69
3.3.2. Corrección geométrica	69
3.3.3. Corrección atmosférica.....	71
3.3.4. Clasificación supervisada con el método de Máxima Verosimilitud ...	75
3.3.5. Clasificación subpíxel con el método <i>SMACC</i>	79
3.4. Combinación de resultados de imágenes fracción y datos censales	82
CAPÍTULO IV.....	85
4. RESULTADOS.....	85
4.1. Cobertura y uso de suelo mediante clasificación supervisada (método duro).....	85
4.2. Cobertura y uso de suelo mediante clasificación subpíxel (método suave)	90
4.3. Comportamiento espacial de la población inmigrante	98
CAPÍTULO V.....	107
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	107
5.1. Discusión.....	107
5.2. Conclusiones.....	112
ANEXO	117
BIBLIOGRAFÍA	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de ubicación del Suelo de Conservación en el Distrito Federal.....	32
Figura 2.2. Fotografía aprovechamiento de la fauna silvestre en el Suelo de conservación	42
Figura 2.3. Fotografía paisajes del Suelo de Conservación	44
Figura 2.4. Gráfica de tasas de crecimiento poblacional en delegaciones del Distrito Federal, 1970-2010	47
Figuras 2.5. Mapas tasas de crecimiento 1970-1990 y 2000-2010, en delegaciones del Distrito Federal.....	48
Figura 2.6. Gráfico de pirámides de población por grupos de edad y sexo de las delegaciones del Distrito Federal con Suelo de Conservación, 1990 y 2010.....	52
Figuras 3.1. Imágenes de parámetros de la corrección geométrica, uso de una transformación polinomial de 2do orden y esquema de remuestreo del vecino más próximo con el software <i>ERDAS 9.2</i>	70
Figura 3.2. Imagen de aplicación del <i>ATCOR 3</i> en el módulo <i>PCI Modeler</i>	72
Figura 3.3. Diagrama de procedimiento <i>ATCOR3</i>	72
Figura 3.4. Imagen del diálogo de especificaciones, parámetros y datos del <i>ATCOR3</i> ..	74
Figura 3.5. Imagen de perfiles espectrales para la obtención de muestras previas a la clasificación	76
Figura 3.6. Imágenes de selección de parámetros para ejecutar la clasificación supervisada sobre la imagen de 1990.....	76
Figura 3.7. Imágenes de aplicación <i>Clump</i> sobre las imágenes de 1990 y 2010.....	78
Figura 3.8. Imagen del diálogo de especificaciones, parámetros y datos del <i>SMACC</i>	81
Figura 3.9. Imagen de la aplicación <i>Zonal Statistics as Table</i> con el software <i>ArcGIS</i>	83
Figura 4.1. Mapa de coberturas de suelo 1990 y 2010	86
Figura 4.2. Gráfica de cambios en hectáreas, clasificación dura	88
Figura 4.3. Mapa de tipos de cambio en el Suelo de Conservación entre 1990-2010 ...	89

Figuras 4.4. Imágenes abundancia, 1990 y 2010: vegetación arbórea, cultivos y barbecho, superficie impermeable, vegetación arbustiva y humedales	90
Figura 4.5. Imagen de expansión urbana detectada mediante análisis de cambios subpíxel de imágenes 1990 y 2010.....	92
Figura 4.6. Imagen de composición cian-magenta-amarillo de la cobertura vegetación arbórea en imágenes 1990 y 2010.....	93
Figura 4.7. Gráfica de cambios en hectáreas, clasificación suave	98
Figura 4.8. Mapa de población total por localidades en delegaciones con Suelo de Conservación, 2010	100
Figura 4.9. Mapa de inmigración reciente por AGEBS en delegaciones con Suelo de Conservación, 2000-2010	104
Figura 4.10. Mapa de expansión urbana en has por AGEBS urbanas 1990-2010	105
Figura 4.11. Gráfica de relación entre expansión urbana e inmigración en AGEBS en Suelo de Conservación, 2010	106

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Distribución del Suelo de Conservación en el Distrito Federal	34
Tabla 2.2. Tasas de crecimiento de la población distribuida en el Suelo de Conservación, 1990-2010	49
Tabla 2.3. Densidad de población en delegaciones del Distrito Federal, 1990 - 2010...	50
Tabla 2.4. Crecimiento poblacional en Delegaciones del Distrito Federal, 1970-2010...	51
Tabla 2.5. Dinámica espacial en AGEBs urbanas en Suelo de Conservación, 1990-2010	52
Tabla 2.6. Promedio de ocupantes por vivienda del DF y delegaciones con SC, 1990-2000	54
Tabla 2.7. Tenencia de la tierra en el Suelo de Conservación	59
Tabla 4.1. Principales cambios de cobertura y usos de suelo a nivel píxel en el Suelo de Conservación del Distrito Federal (datos en has.)	87
Tabla 4.2. Principales cambios de cobertura y usos de suelo a nivel subpíxel en el Suelo de Conservación del Distrito Federal (datos en has.)	94
Tabla 4.3. Tasa de crecimiento de la vivienda en delegaciones con Suelo de Conservación en 1990-2010	95
Tabla 4.4. Distribución de la población en delegaciones del Distrito Federal con Suelo de Conservación según migración absoluta en %, 1990 y 2010	103
Tabla 4.5. Distribución de la población de 5 años y más en delegaciones del Distrito Federal con Suelo de Conservación según migración reciente en %, 1985 y 2005.....	104

*La ciudad puede ser leída como un **texto**. Es un lenguaje, un medio de comunicación, un **sistema** de signos, un discurso que se construye todos los días...un **paisaje** en el que se inscribe la historia, pero también los compromisos –estéticos, políticos, éticos- del artista.*

Jezreel Salazar

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Las áreas urbanas continuarán expandiéndose rápidamente debido al crecimiento de la población y a la migración humana. Sin embargo, la expansión de la mancha urbana prosigue ahora hacia áreas de conservación, afectando los recursos naturales que rodean la ciudad y provocando extensión de áreas de cultivos, degradación del suelo y de bosques, deforestación y disminución de áreas de recarga del acuífero (Izazola, 2004).

Se calcula que entre 2009 y 2050, la población mundial aumentará en dos mil trescientos millones, pasando de seis mil ochocientos millones a nueve mil cien millones (United Nations, 2009a). Al mismo tiempo, la población que vive en áreas urbanas se incrementará pasando de tres mil cuatrocientos millones en 2009 a seis mil trescientos millones para 2050, lo que significará que las áreas urbanas del mundo absorberán el crecimiento poblacional en las próximas décadas (World Urbanization Prospects, 2009:1).

De esta manera, en América Latina y el Caribe se espera que el incremento de la población urbana sea de doscientos millones de personas. En el caso de México, la población que habita en ciudades es aproximadamente 77.5 por ciento, y se espera que en el 2050 se encuentre cerca del 87.6 por ciento (Ibíd.:26). Este tipo de temáticas resulta interesante abordarse no solo por la cada vez mayor movilidad y concentración de la población en los espacios urbanos, sino porque se originan diversos patrones de crecimiento y difusión al expandirse los límites de las ciudades. Cuando el origen de estos patrones de crecimiento y difusión de la población se lleva a cabo de manera desordenada y dispersa, ambos llegan a ser factores importantes en la modificación de

los patrones de cambio del uso de suelo. Incluso, llegan a desbordarse hacia espacios de gran valor ambiental, como las áreas de conservación.

El Suelo de Conservación del Distrito Federal (SCDF) es un espacio donde se llevan a cabo procesos naturales y antrópicos que producen cambios de uso de suelo. Entre los diversos factores derivados de las actividades antropogénicas, que permean el proceso de cambio de uso de suelo, se destacan factores demográficos, sobreexplotación de especies y deforestación. De esta manera, el cambio de uso de suelo es una de las principales causas de pérdida y degradación de los ambientes naturales, los cuales conducen a la reducción de la vegetación natural y la biodiversidad de una región (Vallecillo, 2009).

No obstante, uno de los procesos fundamentales que afectan al SCDF es la urbanización acelerada que le está caracterizando en las últimas décadas. La Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (PAOT, 2003) resaltaba un hecho: en los últimos 60 años el avance de la zona urbana se da en razón de una hectárea por día.

Dentro de este contexto, el proceso de reparto agrario cambió de manera radical la estructura de la propiedad de la tierra en México. Se crearon ejidos y comunidades en la mitad de la superficie del territorio nacional, constituyéndose la propiedad social. En el Distrito Federal (DF), el reparto agrario fragmentó las grandes haciendas existentes que formaban parte del paisaje rústico de los alrededores de la ciudad de México hacia 1930. Aparecieron numerosas pequeñas propiedades y se conformó un cinturón ejidal y comunal que rodeaba la ciudad; con esto aparecieron nuevos actores sociales en la escena: los ejidatarios. *“De esta manera quedan perfilados los actores sociales que con el paso del tiempo se confrontaran en torno a las diferentes formas que adquirió la expansión urbana”* (Cruz, 2011:69). Para 1970 se calculaba que el 68 por ciento del crecimiento urbano en el DF se había dado en tierras de propiedad ejidal y comunal (Schteingart, 1989).

Durante la segunda mitad del siglo XX la dinámica del campo y el crecimiento de las ciudades significaron la interrelación de los ejidatarios con diversos agentes sociales, políticos y económicos vinculados con la vida rural, pero también con aquellos

relacionados por la creciente urbanización (Cruz, 2001b)¹. En los últimos años, posteriores a la Reforma Agraria de 1992, en el DF, la presencia cada vez más de asentamientos humanos² regulares e irregulares, de infraestructura y la creciente promoción inmobiliaria, han contribuido a que la urbanización se desplace hacia zonas rurales, lo cual se traduce en el cambio continuo de usos de suelo (San Miguel, 2010:14).

Es importante resaltar que de 1950 a 2005 el crecimiento del área urbana del DF no se ha dado de manera continua, es decir, no sigue un patrón lineal marcado por las zonas previamente urbanizadas, por lo que el patrón que presenta es de una urbanización a saltos, en la que se destacan los pueblos conurbados³ y las zonas agrícolas (Ibíd., 15). *“En cuanto a los pueblos conurbados, se dice que este tipo de poblamiento se caracteriza por registrar procesos urbanos muy lentos y el uso del suelo habitacional se mezcla generalmente con actividades agrícolas”* (Esquivel, 2006; citado en San Miguel, 2010:15).

Con este escenario, los procesos de cambio de uso de suelo que existen por la expansión urbana en la periferia sur del SCDF, como territorio complejo, están presentando importantes dinanismos que conllevan una constante en la modificación de los patrones de consumo de suelo. Por ello es significativo cuantificar y cartografiar el grado de conversión humana del hábitat natural modificado por la acción antrópica (Lee *et al.*, 1995).

Estos cambios de uso de suelo requieren la aplicación de técnicas que permitan monitorear y cuantificar, de forma satisfactoria, el comportamiento espacio-temporal dentro de un periodo de tiempo establecido. El uso de la percepción remota en estudios para monitorear y cuantificar los cambios de uso de suelo, producto de la expansión

¹ “La inalienabilidad y la imprescriptibilidad que caracterizó durante mucho tiempo a los ejidos tuvo cambios sustanciales hacia finales del siglo XX con la Ley Agraria de 1992”.

² Se entiende como asentamiento humano “el establecimiento de un conglomerado demográfico, con el conjunto de sus sistemas de convivencia, en un área físicamente localizada, considerando dentro de la misma los elementos naturales y las obras materiales que lo integran”. Ley General de Asentamientos Humanos, Artículo 2°.

³ Pueblos conurbados: son los pueblos menores, ranchos, asentamientos humanos, barrios y territorios que se urbanizaron alrededor de las cabeceras y villas después de 1929, y que hoy se encuentran absorbidos por la expansión de las áreas centrales de la ciudad (CONAPO, 1988:42).

urbana, ha demostrado su potencial para proporcionar información geoespacial con niveles de exactitud aceptables y con un gasto de tiempo relativamente corto (Seto *et al.*, 2002). No obstante, hay que tener presente que existen diversos estudios que utilizan métodos estadísticos carentes de conceptos fundamentales para interpretar los datos en los análisis de cambios de cobertura de uso de suelo, por lo que sus evaluaciones terminan sobreestimando o subestimando los resultados, ya que no captan las señales más firmes de cambios sistemáticos y sólo evalúan los cambios predominantes (Pontius *et al.*, 2004).

Actualmente, los estudios sobre los procesos dinámicos de los cambios de cobertura y uso de suelo son fundamentales e imprescindibles, porque proporcionan la base para conocer tendencias de procesos de degradación, deforestación, pérdida de biodiversidad, desertificación y una adecuada planificación del desarrollo de una región determinada (Lambin y Geist, 2006).

Por tal motivo, en esta investigación utilizo y comparo dos métodos de clasificación de imágenes sobre un par de imágenes satelitales de la serie *Landsat 5 TM (Thematic Mapper)*. Por una parte, utilizo clasificación supervisada a nivel píxel con el método de máxima verosimilitud o *Maximum Likelihood*. Por otra parte, aplico el método del cono convexo de máximo ángulo secuencial o *SMACC*, por sus siglas en inglés, en un nivel de análisis subpíxel.

El clasificador de máxima verosimilitud es uno de los métodos “duros” más empleados en la clasificación supervisada y se utiliza debido a su efectividad y a la robustez estadística que posee (Strahler, 1980). Este tipo de clasificación de imágenes es un proceso por el cual los píxeles que tienen características espectrales similares y, que se supone pertenecen a una misma clase, se identifican y se asignan a únicos valores de reflectancia (Gibson y Power, 2000). Se aplica para analizar cuantitativamente una imagen y posee la ventaja de ser la persona quien toma el control de la clasificación.

Este método basa su regla de decisión en la probabilidad de que cada píxel pertenezca a una clase en particular. Se asume que dicha probabilidad es igual para todas las clases y que las bandas de entrada de la imagen a clasificar tienen una

distribución normal⁴. Usa algoritmos que etiquetan los píxeles para representar diversos tipos de clases o coberturas seleccionadas. Estos píxeles etiquetados forman campos de entrenamiento (reconocimiento de la firma espectral) que sirven para identificar a los miembros de cada clase.

Supongamos que se tiene una imagen en valores de reflectancia de una determinada área geográfica. En esa imagen se sabe que determinados píxeles corresponden al agua. Se puede decir entonces que todos esos píxeles son agua. En realidad, lo que se hace intuitivamente es partir de una “muestra” del agua para juzgar si determinado píxel se trata de agua o no. Justamente, ésta es la idea dominante en una “clasificación supervisada”: se comparan las “firmas digitales” de las muestras, con la “firma digital” de cada píxel de la imagen y se asigna el píxel a la clase donde encuentra mayor similitud.

Para la clasificación supervisada es necesario contar con información adicional como son mapas temáticos, fotografías aéreas, espacio-mapas, etc., para poder generar campos de entrenamiento de cada clase. De igual manera, se parte de un cierto conocimiento sobre la zona a clasificar, a partir del cual se obtienen los criterios de clasificación. Previamente se han de seleccionar muestras de cada clase constitutiva. Dichas zonas, conocidas como zonas de entrenamiento, serán procesadas a fin de calcular estadísticas en las bandas que intervengan en la clasificación⁵.

Por su parte, el método de clasificación subpíxel *SMACC*, es un método “suave” que basa su criterio en encontrar firmas espectrales puras o *endmembers*⁶ de la imagen. En síntesis, el método encuentra como primer paso el píxel más brillante de la imagen; después, ubica al píxel que más difiere de éste y seguidamente el píxel que más difiere de los dos primeros. Se repite el proceso hasta que encuentra un píxel perteneciente al

⁴ López Caloca, Alejandra. “Componentes Principales”. Materia: Laboratorio de Percepción Remota. Universidad Nacional Autónoma de México. 2 de Mayo de 2012.

⁵ Martínez Serrano, Ayetsa. “Percepción Remota, otra forma de ver el mundo a partir de una perspectiva social, para no geógrafos”. Materia: Curso de Percepción Remota. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Lunes 21 de mayo de 2012.

⁶ Se denominan *endmembers* cuando se identifican firmas espectrales asociadas a componentes espectralmente puros en una imagen (Plaza *et al.*, 2004).

grupo de los píxeles analizados previamente, o hasta que se alcanza el número especificado de *endmembers*.

Este método pretende aprovechar toda la información contenida en las bandas para cada uno de los píxeles, logrando para cada píxel una clasificación con resolución más fina (Giraldo y García, 2009) y asignando a un píxel diferentes clases de cobertura (Verhoeve y De Wulf, 2000).

Así, las resoluciones más gruesas que los métodos de clasificación “dura”, como el método de máxima verosimilitud ofrecen, los píxeles estarán inevitablemente mezclados, por lo que las técnicas de clasificación “suave”, como el método *SMACC*, pueden ser utilizadas, asignando a un píxel diferentes clases de cobertura, minimizando a la vez la subestimación y sobreestimación de píxeles y logrando una resolución más fina.

En la presente investigación, se pretenden estimar las siguientes coberturas: vegetación arbórea (bosques), cultivos y barbecho (áreas agrícolas de temporal y riego, áreas de labranza en descanso y suelo desnudo), superficie impermeable (techos, pavimento y concreto, entre otros), vegetación arbustiva (arbustos, matorrales y pastizales) y humedales (áreas temporal o permanentemente inundadas de agua).

En este sentido, el objetivo fundamental de este estudio es generar conocimientos nuevos sobre los cambios de uso de suelo de la periferia sur del SCDF, generados por expansión urbana, inmigración de personas y pérdida de cobertura forestal, analizando las relaciones espaciales entre sí.

Así, de esta manera, entender y monitorear la composición del suelo en un espacio en conservación está llegando a ser cada vez más un tópico importante de investigación entre una amplia variedad de disciplinas como la geografía y la geomática, cuyo fin es poner a la disposición de los administradores o gestores de las áreas de conservación ambiental artículos científicos, documentos de trabajo, de divulgación, protocolos, publicaciones, informes técnicos de evaluación, etc., que surgen alrededor de la problemática de la expansión urbana y la deforestación de áreas de conservación.

1.1. Objetivos de la Investigación

1.1.1. Objetivo general

Analizar y estimar los cambios de cobertura de uso de suelo de la periferia sur del SCDF entre 1990-2010, resaltando el efecto de la urbanización en la deforestación.

1.1.2. Objetivos específicos

- 🌲 Comparar análisis de cambios de cobertura y uso de suelo a nivel píxel y subpíxel.
- 🌲 Analizar la dinámica de la población en el período establecido.
- 🌲 Determinar si la inmigración de personas contribuye a la expansión urbana hacia suelos con vocación agrícola, a la degradación del bosque y en consecuencia a la deforestación.

1.2. Estructura de la tesis

La presente investigación está estructurada en seis capítulos.

El Capítulo I, *Introducción*, expone el preámbulo del presente trabajo de investigación. Enseguida, se da paso a los objetivos general y específicos que aportan las razones que justifican esta tesis como proyecto de investigación en Geografía y Geomática.

En el Capítulo II, *Antecedentes*, se describen diversos estudios relacionados con el *cambio de uso de suelo, la expansión urbana, migración y deforestación*, subrayando los casos que resaltan las grandes ciudades, donde la alta concentración de la población y de las actividades económicas hacen más evidente los riesgos de deterioro ambiental. Se muestran estudios previos relacionados con la percepción remota y el uso de imágenes satelitales que abordan el problema de la expansión urbana en algunas ciudades, con el fin de registrar, monitorear y detectar los cambios y usos de suelo a través del análisis geoespacial y temporal, siendo una fuente adecuada de

información fiable para abordar las múltiples facetas del medio ambiente urbano. Asimismo, se realiza una descripción y análisis de las características biofísicas, ambientales y demográficas del área de estudio.

Por su parte, el capítulo III, *Materiales y Métodos*, expone las técnicas que se requirieron para desarrollar el trabajo de investigación, con el propósito de responder a los objetivos planteados. La presente metodología muestra, entonces, el empleo y la aplicación de diversas técnicas que se sustentan en los estudios de Percepción Remota, de tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y de Geografía de la Población.

En el Capítulo IV, *Resultados*, se muestran los resultados obtenidos al aplicar los métodos de extracción de información, así como su contextualización.

Finalmente, en el Capítulo V, *Conclusiones*, se valora el grado de cumplimiento de los objetivos, enmarcando dichos resultados en el contexto de investigaciones similares.

CAPÍTULO II

2. ANTECEDENTES

2.1. ANTECEDENTES SOBRE CAMBIO DE USO DE SUELO, EXPANSIÓN URBANA, MIGRACION Y DEFORESTACION

La creciente preocupación por el ambiente, con todas sus variantes en los diversos planos de la acción humana, constituye cada vez más uno de los emblemas primordiales de esta segunda década del siglo XXI. Hoy más que nunca, son comunes los llamados a crear conciencia sobre los riesgos y fragilidades del medio que rodea a los seres humanos en un contexto geográfico dado.

Desde hace mucho tiempo se están analizando las relaciones entre la población, el ambiente y el desarrollo; sin embargo, ya se está destacando el hecho de que la problemática ambiental surge de la constante interacción de procesos naturales asociados a procesos antrópicos, económicos y culturales.

En las últimas décadas, la expansión urbana de la periferia sur de la ciudad de México, a causa de contingentes migrantes de personas, ha mostrado nuevos patrones y presiones en su constante expansión, penetrando en la actualidad importantes zonas agrícolas tradicionales y zonas boscosas que funcionan como proveedoras de servicios ambientales.

La especificidad cultural y tecnológica en la que nos encontramos últimamente nos obliga a conocer no solamente el funcionamiento integral del sistema natural, sino también los factores y dinámicas que determinan la orientación e intensidad de las actividades humanas sobre la naturaleza, así como las alternativas socioculturales y tecnológicas para limitar y mitigar los efectos nocivos de esta intervención sin perjuicio del bienestar humano. Es necesario establecer de qué manera el desarrollo del ser humano, entendido como el proceso de mejoramiento de su capacidad para elegir libremente entre diversas opciones que le permitan realizarse individual y socialmente,

“puede efectuarse en un contexto de respeto a la naturaleza, sin que su costo sea la destrucción de ésta en perjuicio de las generaciones futuras” (Guttman, 2004:9).

Es así que el caso de las grandes ciudades merece ser objeto de especial atención en la medida en que en ellas, la alta concentración de la población y de las actividades económicas, hacen más evidentes los riesgos de deterioro ambiental, ya que las actividades humanas se están convirtiendo cada vez más en los principales desencadenadores de las transformaciones ambientales y del crecimiento de las ciudades, que están representando parte de esos cambios, entre ellos los cambios de uso de suelo (López y Plata, 2009:86).

Por otra parte, los bosques cubren alrededor del 10% de la superficie de la tierra y 20% del área continental, sin tomar en cuenta la Antártida y Groenlandia. Cerca del 55% de estos bosques están localizados en los países tropicales y en desarrollo, con el restante 45% localizados en los países desarrollados.

Es fundamental entender que los bosques constituyen una parte crucial del geosistema ambiental global y la economía mundial. Estos facilitan un amplio hábitat natural para la vida silvestre. Estimaciones señalan que estos bosques albergan aun una enorme cantidad de especies de organismos vivos (Vajpeyi, 2001).

De este modo, los bosques proveen importantes servicios ambientales como la absorción de dióxido de carbono (CO₂) del aire, almacenan CO₂ en sus sistemas, regulan el suministro y flujo de aire fresco, entre otros. Asimismo, proporcionan plantas medicinales, ayudan al control de inundaciones, detienen la erosión del suelo y proveen de árboles y madera para producir energía y combustible a miles de millones de personas en el mundo (Abramovitz, 1998).

En este sentido, a partir de un balance de la literatura referida a los cambios de uso de suelo, la expansión urbana, la migración y la deforestación, se revisaron los contenidos de diversos trabajos provenientes de diferentes disciplinas con respecto al tema que se desarrolla en este trabajo. Por lo tanto, esta investigación se centra en la relación que coexiste entre los cambios de uso de suelo con la expansión urbana y la migración de personas hacia áreas de conservación, lo que genera degradación del

suelo y deforestación en localidades rurales y urbanas dentro de las delegaciones de la periferia sur del SCDF.

2.1.1. Definiciones claves

Para abordar y entender los efectos de la migración de personas, la urbanización y la degradación de bosques en áreas de conservación ecológica, generando cambios de cobertura y uso de suelo, es necesario tomar en cuenta algunos conceptos para su aplicación analítica en la presente investigación.

Cambio de uso de suelo: El uso de suelo (*land-use*) se define como aquellas actividades humanas que se desarrollan sobre un territorio (Turner, *et al.*, 1995). Las actividades humanas desencadenan cada vez más transformaciones ambientales y es el crecimiento de las ciudades lo que está representando, en gran parte, una enorme presión sobre el territorio y sus recursos naturales, afectando la calidad de vida de las personas y la sostenibilidad general (López y Plata, 2009:86).

En el caso de la ciudad de México, según su legislación, el suelo urbano está prácticamente agotado, mientras que las necesidades de vivienda de parte de su población siguen en aumento, lo que ha originado que el suelo de conservación se convierta en el *“objetivo fundamental de todo un proceso de crecimiento irregular que pone en peligro aspectos tan básicos para la ciudad como su equilibrio climático y ecológico, sin olvidar la importancia de la cubierta forestal, necesaria para el ciclo hidrológico de la cuenca”* (Mollá, 2006:84).

Es notorio el papel que juega el crecimiento urbano sobre el uso del territorio, por lo que es necesario conocer la distribución espacial y temporal de las diferentes coberturas de suelo existentes con la finalidad de valorar las condiciones ambientales en las que se presentan cambios y reconocer sobre qué coberturas de suelo se está ejerciendo mayor presión (Stefanov *et al*, 2001).

Actualmente, los estudios sobre cambio y uso de suelo y deforestación son fundamentales puesto que estos proporcionan la base para conocer los procesos que

subyacen en temas como degradación, pérdida de biodiversidad, desertificación, erosión, etcétera, con el fin de tomar buenas decisiones en la planificación del desarrollo de un territorio o región específica (Lambin *et al.*, 2006).

En este sentido, se requiere la aplicación de técnicas que permitan monitorear y evaluar los cambios que sufren las coberturas de suelo espacial y temporalmente. De esta manera, el uso de la percepción remota en estudios para monitorear el cambio de cobertura y uso de suelo, producto de la expansión urbana, está demostrando su potencial para proporcionar información geoespacial con niveles de exactitud y precisión aceptables y con un gasto de procesamiento computacional relativamente corto (Seto *et al.*, 2002).

Expansión Urbana: La expansión urbana no está de ninguna manera restringida a ningún grupo social, cultural o económico en cualquier lugar del mundo. Es en gran parte resultado de una creciente población en las ciudades, que en numerosas ocasiones carece de organización y gestión por parte de las autoridades en materia de urbanización.

En este contexto, es necesario recordar que el nacimiento del fenómeno urbano está íntimamente ligado a diversos aspectos de la vida económica y a lo que se ha calificado como *revolución neolítica*.

Es decir, el término *neolítico* significa “piedra nueva” o “piedra pulida”, que constituyó un hito útil y un indicio de una evolución de la civilización, resaltando el paso de una economía basada en la recolección, la caza y la pesca hacia una economía basada en la agricultura y la cría de animales (Bairoch, 1990:19).

Una de las consecuencias que arrojó tal evolución fue el paso de la vida nómada a la sedentaria, originándose un gran aumento en la producción de alimentos por unidad de superficie de tierra, lo que permitió la existencia de un excedente de alimentos y el trueque o intercambio de los mismos. Así, la existencia de este excedente dio paso al aumento de las densidades de población.

Estos factores, a saber, de la vida nómada al sedentarismo, el aumento de la producción de alimentos, la existencia de excedentes de alimentos y el aumento de las

densidades de población, todos pueden conducir al esbozo de una civilización urbana. Las ciudades surgen y evolucionan a partir de la fusión y la interacción simbiótica de la infraestructura existente, las personas y las actividades económicas. Estas interacciones son sistemáticas, en general, porque están relacionadas con el desarrollo de la economía mundial, y más específicamente en que en ellas se manifiestan las tecnologías de la construcción y del transporte (Besussi *et al.*, 2010:14).

Por lo demás, es interesante señalar que a partir de la explosión económica sucedida en la Revolución Industrial, el modo de vida rural y urbana de algunas regiones de Europa y del mundo entero, sufrió grandes modificaciones. El modo de vida urbano cobra mayor importancia y se va convirtiendo paulatinamente en género de vida y en regla.

“Para 1990, en la mayoría de los países desarrollados, más de dos personas de cada tres vivían en ciudades...además, la mitad de estos ciudadanos vivían en grandes poblaciones de más de 500,000 habitantes (Bairoch, 1990:197). Para 2008, el mundo alcanzaba un hito trascendental, pues más de la mitad de su población humana, 3,300 millones de personas, vivían en zonas urbanas. Estimaciones preveían que para 2030, esa cantidad habría llegado a casi 5,000 millones, destacándose el hecho que de los “nuevos habitantes urbanos, muchos serán pobres y 7 de cada 10 residirán en Asia y África” (Estado de la población mundial, 2008). En la actualidad, se sabe que la población mundial ha rebasado los 7,000 millones de habitantes y se espera que para el año 2045 la población mundial alcance la cifra de 9,000 millones¹. De esta manera, el nivel de urbanización ha variado considerablemente a través de la historia entre regiones y países. Europa, América Latina y el Caribe, América del Norte y Oceanía están altamente urbanizados, con proporciones que van del 70 al 82 por ciento de su población viviendo en centros urbanos, mientras que en África y Asia siguen siendo principalmente rurales, con tan solo 40 y 42 por ciento de su población viviendo en asentamientos urbanos, respectivamente (United Nations, 2011:1).

La migración rural-urbana ha desempeñado históricamente un papel clave en el rápido crecimiento de las ciudades y, junto con la asimilación de localidades rurales

¹ Fuente: About.com (<http://geography.about.com/od/obtainpopulationdata/a/worldpopulation.htm>).

hacia los centros urbanos, sigue siendo un componente importante del crecimiento de la ciudad. Sin embargo, el crecimiento natural, es decir, la diferencia entre nacimientos y muertes de un lugar, puede contribuir de manera significativa al crecimiento urbano, especialmente en los países donde las tasas de fecundidad siguen siendo elevadas. Hoy en día, el crecimiento natural hace una mayor contribución al crecimiento de la población urbana que la migración interna y la asimilación en la mayoría de los países en desarrollo (United Nations, 2008).

En este sentido, la expansión urbana es una consecuencia del crecimiento poblacional y el desarrollo urbano, que permite la dispersión de nuevos asentamientos humanos en espacios aislados o terrenos baldíos, separados unos de otros (Ottensmann, 1977). También se le asocia comúnmente al desarrollo constante o progresista de tipo *leapfrog* (desarrollo por etapas) (Gordon y Richardson, 1997).

Dadas las dificultades inherentes en la medición y el monitoreo físico de las estructuras socioeconómicas manifiestas en ella, es necesario comprender el término *expansión*. La expansión se concibe como crecimiento no coordinado y acelerado de los asentamientos urbanos en sus fronteras, en plena asociación con el crecimiento demográfico moderado y crecimiento económico sostenido (Besussi, *et al.* 2010:17).

Este fenómeno de expansión no coordinado o incontrolado de las ciudades muchas de las veces está fuera de toda normatividad urbana y no obedece a una planeación organizada de los planes y programas legalmente vigentes en materia urbana:

Es común que enormes extensiones de terreno que han sido legalmente decretados en los planes y programas para usos agropecuarios o de conservación ecológica, vitales para la recarga de acuíferos de la ciudad, sean lotificados y vendidos por ejidatarios² o comuneros³ de manera ilegal. La magnitud y complejidad del fenómeno de conversión de usos de suelo de rurales a urbanos dentro del territorio “peri-urbano” es tal, que los gobiernos locales de las ciudades lo acaban aceptando como un hecho ineludible e irreversible (Bazant, 2008:118).

² Ejidal es una tenencia de la tierra “social”, derivada de una reforma agraria que dividió los grandes latifundios y tierras ociosas y las asignó a núcleos de campesinos locales.

³ Comunal es una tenencia de la tierra social que proviene desde la época pre-hispánica y aún conserva su vigencia en los núcleos urbanos más antiguos.

Además, se ha encontrado que la fragmentación del uso de suelo es también perjudicial para la conservación biológica. Por mencionar un ejemplo, un territorio basto por lo general contiene una mayor diversidad de hábitats, ya que proporciona una mayor variación espacial y temporal de recursos (O'Connor *et al.*, 1990). No obstante, han existido muchos debates sobre la manera de limitar la expansión urbana y conservar las tierras agrícolas (Ewing, 1997). De esta forma, sigue imperando la falta de buenos indicadores que permitan medir de manera más adecuada la expansión urbana y evaluar sus impactos.

Lo que es particularmente interesante acerca de la expansión urbana no es tanto la búsqueda de una definición teórica o medición omnicompreensiva de sus causas y manifestaciones, a través de modelos matemáticos, de simulación o dinámicos, sino más bien el reto que ello representa para los debates teóricos y científicos. En este sentido, los campos de la ciencia interesados en la recopilación y estructuración de datos empíricos sobre el crecimiento urbano a través de la percepción remota son cada vez más importantes.

Anteriormente el uso de herramientas de tecnología de la información era limitada para registrar la conversión de espacios sin construir a espacios construidos, utilizando un análisis temporal del cambio espacial determinado a partir de datos obtenidos por satélite o aerotransportados. En esta investigación recorro a la percepción remota para abordar el fenómeno de la expansión urbana.

Existen investigaciones que han demostrado que la aplicación del modelaje matemático o de técnicas y herramientas de la percepción remota y de tecnología de la información pueden hacer frente a este fenómeno, registrando, monitoreando y detectando los cambios y usos de suelo a través del análisis espacio temporal (Yakoub, 2005; Cheng, 2003), a través de redes neurales o autómatas celulares (Pijanowskia *et al.*, 2002; Al-kheder, 2007) o por medio de técnicas de inteligencia artificial (Al-Kheder y Shan, 2006).

Por ende, entender la evolución de los sistemas urbanos y abordar las cuestiones relativas a los cambios en los patrones espacio-temporales de forma intra e inter urbana, siguen siendo objetivos primordiales en la investigación urbana y ambiental.

Aquí, la percepción remota, aunque cuestionada por la heterogeneidad espacial y espectral de los entornos urbanos, es una fuente adecuada de información fiable para abordar las múltiples facetas del ambiente urbano (Jensen y Cowen, 1999, Donnay *et al.*, 2001, Herold *et al.*, 2003, Bhatta *et al.*, 2010).

De esta manera, cuando las ciudades crecen, el territorio circundante y las áreas verdes naturales son absorbidos para construir casas, carreteras, caminos, para satisfacer las necesidades y deseos de la población habitante. Esta expansión de las zonas urbanas hacia áreas rurales, hacia tierras de cultivo y bosques en los bordes exteriores de una ciudad se conoce como expansión urbana.

Esta expansión urbana se ha convertido en un tema de investigación global, que está siendo estudiada por países desarrollados y en desarrollo. En cuestión de calidad de vida, en los países en desarrollo, las consecuencias pueden ser potencialmente devastadoras con respecto a la ampliación del crecimiento urbano desmedido en comparación a la mayoría de los países desarrollados que están definitivamente en mejores condiciones de hacer frente a las catástrofes ambientales o sanitarias que se presenten como consecuencia de la expansión.

Las ciudades representan un papel importante, no sólo como proveedoras de empleo, albergue y servicios, sino también como centros de desarrollo cultural, educativo y tecnológico, otorgando un estrecho vínculo positivo entre los niveles de desarrollo humano y los niveles de urbanización de un país (UNCHS, 2001b). No obstante, hay que tener presente que un rápido crecimiento urbano conlleva desempleo creciente, degradación ambiental, deforestación, cambio climático local y regional, falta de servicios urbanos, sobrecarga de infraestructura existente y carencia de acceso a la tierra, recursos financieros y una vivienda adecuada. Por lo anterior, uno de los principales retos actuales y del futuro será el manejo de la sostenibilidad del ambiente urbano.

En este sentido, en este trabajo de investigación, el enfoque de percepción remota permitirá identificar patrones de homogeneidad o dispersión y análisis de cambios espaciales y temporales que se producen en el SCDF por el crecimiento urbano de la

ciudad. Se corroborará con el uso de datos censales que permitirán hacer una mejor interpretación de la problemática puesta en escena.

Migración: A pesar de contar con muchos antecedentes históricos, la relación población-ambiente ha ido acrecentando las preocupaciones ambientales en los últimos años. Las comunidades científica y política se están interesando cada vez más en entender los vínculos que existen entre la migración de personas y su relación con el ambiente. De la misma manera, ha surgido el interés de investigar la relación entre migración-ambiente y pobreza-desarrollo sostenible, en una escala local, nacional y global, así como también analizar las implicaciones de estas asociaciones que para la política son de gran interés (Bilsborrow y Henry, 2012:1).

Para investigar las relaciones entre ambiente y migración, se debe tener presente que existen varios tipos de migración de interés, de los cuales se desprenden los siguientes: interna, internacional, de retorno (regresar después de haber vivido en otro lugar, ya sea en el mismo país o más allá de él), a largo plazo/permanente contra corto plazo/estacional/temporal, circular, e incluso de desplazamiento cotidiano o semanal. Pero en general es útil reducir el enfoque de cada tipo mediante el uso de la definición demográfica estándar de migrante, que se define *“como alguien quien (a) se mueve a través de una frontera política o administrativa para (b) cambiar su lugar de residencia habitual”* (UN, 1998:10).

La migración internacional, obviamente, implica un movimiento que trasciende fronteras entre países, mientras que la migración interna dentro de un país es distinta según las especificaciones de la nación y sus fronteras administrativas, tales como provincias o estados, distritos y municipios (delegaciones), etc. Los cambios de residencia dentro de unidades administrativas de nivel más bajo reconocidas por el país no se consideran migraciones con fines analíticos. Esta definición es útil para la recolección de datos en los censos y encuestas para centrarse en el largo plazo y en las formas más significativas espacialmente hablando de la migración que implican no sólo cambios en la residencia, sino también en las actividades, tales como el empleo, el uso de la infraestructura local, las empresas y las relaciones sociales (Bilsborrow and Henry, 2012).

Para la mayoría de los propósitos, especialmente para la formulación de políticas, es importante resaltar que el tema de los migrantes recientes es de particular interés, a saber, aquellos que emigraron en el pasado hace 2, 5 o 10 años. Sin embargo, para estudiar las relaciones entre la migración y el ambiente, es necesario considerar una perspectiva de largo plazo, ya que los impactos de los migrantes en el ambiente en el lugar de destino son acumulativos en el tiempo, tales como el desmonte de terrenos o deforestación y el uso de suelo. Del mismo modo, el cambio ambiental que estimula u obliga a la gente a moverse puede ser resultado de cambios ambientales graduales, tales como la pérdida de la fertilidad del suelo a través del tiempo por el uso agrícola o ganadero constante. Por otra parte, algunos cambios ambientales que inducen la migración, tales como la sequía, inundaciones y otros desastres naturales, pueden originarse de manera repentina o irse gestando progresivamente. En esta investigación, me abocaré principalmente en los efectos acumulativos que los inmigrantes generan en el ambiente del SCDF, como lugar de destino.

Así, la migración en América Latina se presenta de manera muy distinta a la de los países del Norte, tanto de Estados Unidos y Canadá como de las naciones europeas. En México, como en la mayoría de los casos latinoamericanos, las migraciones de las últimas décadas han sido principalmente internas (migraciones campo-ciudad o de ciudades pequeñas a grandes centros metropolitanos) (Chávez y Serrano, 2003; Pérez, 2006; Pérez y Santos, 2008) y no provenientes de otros países, lo cual genera situaciones de diferenciación poco comparables a las de los países del norte de América y de Europa (Schteingart, 2001).

En diversos estudios ecológicos, Meyerson, Merino y Durand (2007) afirman que la migración humana y el crecimiento poblacional tienen efectos substanciales en el ambiente y en sus esfuerzos para conservarla. El trabajo desarrollado por estos autores evidencia claramente que en el continente americano, el movimiento de personas, capitales, bienes y servicios han sido detonantes de diversos tipos de cambios en los ecosistemas, incluyendo la deforestación. La urbanización, como tendencia dominante en el continente americano, resulta ser un arma de dos filos para la conservación, es decir, por un lado desplaza a las poblaciones humanas fuera de las áreas rurales y protegidas, y por el otro lado, incrementa la demanda de energía y bienes y servicios.

Resaltan, en el mismo estudio, que la migración hacia zonas boscosas y el abandono de tierras rurales marginadas exponen retos ecológicos opuestos y difíciles, porque el cambio climático complicará más los flujos migratorios y la conservación de los ecosistemas, particularmente en los países en desarrollo, cuya capacidad económica y tecnológica es limitada.

Otros estudios de población y ambiente también demuestran que la migración de personas hacia zonas boscosas pone en riesgo la conservación de los ecosistemas (Carr, 2005b), en donde la deforestación en reservas de la biosfera, como por ejemplo, la Maya, demostraba que los bosques tropicales de América Central eran los más talados durante la segunda mitad del siglo XX (Carr, 2005a). Para explicar el fenómeno de la deforestación se implementaban entrevistas comunitarias y encuestas a nivel hogar que recababan información cuantitativa y cualitativa en varias comunidades (Carr, 2003:21). No obstante, otros trabajos ponen de manifiesto el importante rol que tienen ahora la participación, la organización y la cultura comunitaria en su papel de administradores de bosques (Deininger y Minten, 2002; Klepeis, 2003; Carr, 2005a; Baptista, 2010; Taylor, 2010; Taylor et al., 2010).

Por último, dentro del contexto de los estudios urbanos, el trabajo de Martha Schteingart (2001) ya mostraba el interés de revisar conceptos vinculados a la problemática de la división social del espacio o la segregación urbana en las ciudades de América Latina; su trabajo pretendía mostrar las dificultades y los avances que se encontraban en los análisis cuantitativos referentes a la segregación social. Así, de esta manera, la segregación es consecuencia del proceso de expansión urbana incontrolada y el marco social y económico bajo en el cual se desarrollan las ciudades latinoamericanas (Bazant, 2008, 2010).

Deforestación: En años recientes, los problemas ambientales han atraído tanta atención como la deforestación y su impacto global sobre el bienestar ecológico de la superficie terrestre.

Independientemente de la magnitud y la ubicación exacta de la deforestación, está claro que la deforestación implica a menudo la pérdida de medios de subsistencia para

la gente que depende de los bosques, la mayoría de la cual no sería capaz de encontrar otra fuente de empleo.

La deforestación implica también la disminución de la existencia de leña y productos forestales no maderables, así como de madera industrial, erosión latente de suelos, sedimentación de ríos, pérdida de especies y genes sustanciales (teniendo en cuenta el nivel de bosques tropicales con gran biodiversidad endémica), emisiones latentes de dióxido de carbono que contribuyen al calentamiento global y otros tipos de cambio climático local y regional (Kaimowitz *et al.*, 1998:302).

La FAO⁴ define la deforestación como *"la suma de todas...las transiciones de clases de bosque natural (continuo y fragmentado) a otras clases no forestales en su totalidad"* (FAO, 1996:22). Esta definición centra su atención en la pérdida de bosque natural y se enmarca en el contexto de definiciones específicas de bosque y clases no forestales de uso de suelo, tales como el urbano y el agrícola. Si se realiza un análisis de transiciones entre estas clases, se podría dar luz verde a la concepción de que las relaciones causa-efecto subyacen a la deforestación y ayudan a determinar los usos óptimos del suelo.

Otra definición muy acertada indica que la deforestación es *"la conversión directa, inducida por el hombre de tierras forestales a tierras no forestales"* (UNFCCC, 2001; citado por Pacheco *et al.*, 2011:281).

Asimismo, hablar de deforestación implica abordar la degradación. La degradación forestal es un antecesor esencial de la deforestación. La degradación forestal es una *"disminución de densidad o aumento de la perturbación en las clases forestales"* (FAO, 1996:21). La degradación relaciona potencialmente una pérdida importante de productos forestales y servicios ecológicos, incluso cuando existe poca deforestación como tal (conversión total de bosque a otro uso de suelo). Por lo tanto, tomar en cuenta

⁴ La FAO es la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Es una organización supranacional que está formada por países y funciona bajo el amparo de la ONU. Su función principal es conducir las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre. La FAO ayuda a los países en desarrollo y a los países en transición a modernizar y mejorar sus actividades agrícolas, forestales y pesqueras, con el fin de asegurar una buena nutrición para todos.

las preocupaciones acerca de la degradación puede ser importante en el corto y largo plazo.

El proceso de deforestación, visto como geosistema, puede ser analizado en dos subsistemas: agentes y causas. Los agentes de deforestación son personas que convierten físicamente (o a través de la toma de decisiones sobre su fuerza de trabajo) los bosques a usos no forestales: pequeños agricultores, propietarios de bienes y plantaciones, concesionarios forestales, agencias constructoras de infraestructura, etc.

Como ejemplo, la FAO (1996) atribuye la mayor parte de la deforestación en América Latina a operaciones de mediana y gran escala (reubicaciones de asentamientos, cría de ganado a gran escala, presas hidroeléctricas) y señala que la deforestación en esa región se caracteriza por la transición de bosque cerrado a usos de suelo no forestales.

En el caso de África se relaciona, en gran medida, a la expansión de la agricultura a pequeña escala y a la presión que ejerce la población rural (creciente número de pequeños productores) que se asocia con la conversión de la cobertura forestal cerrada a agricultura de barbecho corto. En Asia, se asocia tanto con operaciones a largo plazo (como en el caso de América Latina) como con la presión de población rural (como en África) e involucra la conversión de bosque cerrado a barbecho corto y amplio, plantaciones y usos no forestales.

Y en países más grandes, como China, India e Indonesia, los diferentes tipos de procesos dominan en función del contexto específico de la región involucrada. A ciencia cierta, no hay explicaciones simples ni universales sobre su causa.

Por su parte, las "causas" de la deforestación involucran múltiples factores que forman diversas acciones para los agentes y que contribuyen en la decisión de deforestar (talar). Estas causas incluyen fuerzas de mercado (fluctuaciones en los precios internacionales de productos agrícolas de exportación), políticas económicas (devaluación de moneda), medidas legales o reglamentarias (un cambio en las leyes de tenencia de la tierra), factores institucionales (la decisión de desplegar más guardias forestales en un área en particular) y decisiones políticas (un cambio en la manera de

asignar concesiones forestales), entre otras. Lo que sí es un hecho es que existen ciertas causas que pueden ser manipuladas para influir en el comportamiento de los agentes (Kaimowitz *et al.*, 1998:303).

A grandes rasgos, no existe una política perfecta o generalizable para reducir la deforestación. No existen soluciones fantásticas ni recetas mágicas, ya que la situación de cada país es diferente, muchas de las veces acompañada de incertidumbre acerca de las principales relaciones causa-efecto, y las ventajas y desventajas que por lo general existen entre los criterios de evaluación de las políticas.

2.1.2. Investigaciones y estudios de caso: panorama mundial y regional

Estos informes y estudios de caso permiten identificar las causas principales que son representadas por las actividades humanas y que afectan directamente al ambiente.

La *FAO* analiza, en su informe principal, la situación de los recursos forestales en el mundo. Señala que la deforestación en las zonas tropicales ha sido el cambio de uso de suelo más estudiado en los últimos años, debido a la alta biodiversidad que aún se encuentra en los bosques tropicales, resaltando el papel que desempeñan estos últimos en el balance ecológico mundial (Lambin *et al.*, 2003). La organización publicó, en octubre de 2010, índices de deforestación, los cuales seguían siendo alarmantes pero que sin embargo estaban disminuyendo; según su percepción, la mayor área forestal del mundo se encuentra en Europa, y esto se debe principalmente a las vastas franjas de bosques que posee la Federación de Rusia, mientras que América Latina y el Caribe han registrado la mayor pérdida neta de bosques en la última década (FAO, 2011).

Diversas investigaciones tratan el tema del cambio de uso de suelo, la expansión urbana y la deforestación resaltando el uso de tecnologías como fotografía aérea, imágenes satelitales y los Sistemas de Información Geográfica para cuantificar la expansión física y monitorear el crecimiento de la población.

En Estados Unidos, la investigación de Masek *et al.* (2000) señala que la urbanización, al igual que otros cambios en la cobertura de suelo por parte del ser humano, representa una respuesta a las condiciones económicas específicas,

demográficas o ambientales. Realizan su análisis sobre Washington DC, como caso de estudio, para relacionar estimaciones obtenidas por satélite del crecimiento urbano con factores económicos y demográficos. Utilizando archivos de datos *Landsat* crean series de tiempo de tres épocas para el crecimiento urbano para el período 1973-1996. Los resultados muestran que el área urbanizada que rodea Washington DC se ha expandido a una velocidad de $\sim 22 \text{ km}^2$ por año durante ese período, con un crecimiento notablemente mayor en la década de 1980. Comparando con datos del censo se tiene que el crecimiento físico del plano urbano, observable desde el espacio, se puede relacionar convenientemente con los patrones económicos regionales y nacionales.

El trabajo de Lu y Weng (2004) analiza las características de las clases de cobertura y uso de suelo (*LULC*) aplicando análisis de desmezclado espectral (*SMA*), y desarrollando a la vez un modelo conceptual para la caracterización de los patrones urbanos de la cobertura y uso de suelo. Para ello, utilizan un conjunto de imágenes *Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +)* que cubren la ciudad de Indianápolis, aplicando sobre ellas una transformación de *minimum noise fraction (MNF)* para convertirlas en componentes principales. Los autores seleccionaron cinco imágenes de firmas espectrales puras o *endmembers* (sombra, vegetación verde, superficie impermeable, suelo seco y suelo oscuro) y aplicaron una solución de mínimos cuadrados sin restricciones para desmezclar los componentes del *MNF* dentro de las imágenes fracción generadas. Los resultados de su investigación señalan que el enfoque *SMA* aplicado en las imágenes mejoró significativamente la precisión de la clasificación, en comparación con el clasificador de máxima verosimilitud (*maximum-likelihood*), por lo que las imágenes fracción son capaces de caracterizar efectivamente patrones del paisaje urbano.

Otras investigaciones utilizan modelos de crecimiento urbano, combinados con modelos de transición de suelo para simular el crecimiento urbano futuro. Así lo demuestran Yang y Lo (2003) en su trabajo sobre el área metropolitana de Atlanta, una de las urbes de Estados Unidos con mayor crecimiento urbano en las últimas tres décadas. En su trabajo, dichos autores calibran su modelo con datos históricos que extraen de series de tiempo de imágenes de satélite, diseñando tres posibles

escenarios para simular las consecuencias espaciales del crecimiento urbano bajo diferentes condiciones ambientales.

Por otra parte, en su artículo, Soffianian *et al.* (2010) abordan la expansión urbana y el crecimiento poblacional de la ciudad de Isfahan, Irán. Comentan en su estudio que la expansión urbana es uno de los factores clave en el cambio de uso y cobertura de suelo el cual ha causado grandes problemas como pérdida de tierras agrícolas, contaminación del agua, erosión del suelo, generando algunas desventajas sociales y económicas. Hacen uso de imágenes satelitales *Landsat MSS, TM y ETM+* para detectar los cambios ocurridos en las zonas residenciales de Isfahan en el periodo comprendido entre 1956-2006, clasificándolas a su vez en tres categorías principales: zonas residenciales, zonas no residenciales y espacios verdes. Por último, aplican el proceso de superposición de imágenes y las relacionan con el crecimiento demográfico.

En la India, una investigación interesante analiza los cambios temporales en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y la tasa de deforestación, identificando dos causas importantes de la misma; en primer lugar se ubica la selección de políticas y restricciones de desarrollo humano, donde esta selección de políticas descuidan la conservación que causa la pérdida de bosques (aún en países que están relativamente desarrollados); y en segundo lugar, por la falta de desarrollo en otros países que puede incrementar la presión sobre los bosques por satisfacer las necesidades básicas de la población humana (Jha y Bawa, 2006).

Con respecto a China, el trabajo de Feng (2009) destaca el siguiente hecho: aún la comprensión de la expansión urbana en China descansa en términos cualitativos y no en análisis cuantitativos, por lo que no existe una respuesta clara para identificar y evaluar la magnitud de la expansión. Hace hincapié en señalar que los métodos existentes para medir la expansión urbana se aplican principalmente en los países desarrollados de occidente. Se da a la tarea en su investigación de aplicar técnicas de Percepción Remota utilizando, a su vez, Sistemas de Información Geográfica para monitorear la expansión urbana.

Así lo demuestra el trabajo de Amin (2007), donde trata de estudiar los patrones de crecimiento urbano aleatorio en Egipto y la tasa de cambio del mismo crecimiento

utilizando Sistemas de Información Geográfica, Percepción Remota y Modelos de Crecimiento Urbano Computacionales.

Por otra parte, el objetivo de la investigación de Alhaddad *et al.* (2012) es detectar, identificar y analizar la morfología de las grandes ciudades por medio de instrumentos de Percepción Remota, así como diversos indicadores de paisaje. La finalidad de su trabajo es comprender la estructura de estos paisajes heterogéneos llamados megaciudades, el consumo de suelo y la complejidad espacial requeridos para cuantificar con mejor precisión la morfología. Además, el análisis morfológico del paisaje que propone permite establecer las analogías y las diferencias entre los patrones de las ciudades y estudiar la simetría, la dirección del crecimiento, la linealidad, la complejidad y la compactación de la forma urbana con el objetivo de desarrollar una nueva metodología para detectar suelo urbanizado en algunas grandes ciudades de todo el mundo (Tokio, México, Chicago, Nueva York, Londres, Moscú, Sao Paulo y Shanghai), utilizando imágenes *Landsat 7*.

En Sudamérica, Walker analizó el papel que tiene la dinámica del uso y cobertura de suelo como proceso que refleja una secuencia de decisiones tomadas, previamente, por los dueños o administradores de las tierras en la cuenca del Amazonas, tomando en consideración características de los hogares y sus fronteras agrícolas y generalizando el problema de la deforestación tropical dentro de la dinámica forestal (Walker, 2003). Otras investigaciones de la misma región resaltan el comienzo de una era “moderna” de deforestación con la construcción de carreteras como la transamazónica en 1970, que permitieron el desmonte para facilitar la industria ganadera e incrementar las tasas de deforestación (Fearnside, 2005); o donde los efectos de la construcción de carreteras, la topografía y los cambios de uso de suelo siguen contribuyendo a cambios en la dinámica de la cobertura forestal (Freitas *et al.*, 2010).

En Chile, algunos estudios como el desarrollado por Krellenberg *et al.*, (2011) muestran el interés por comprender los cambios recientes en la morfología y estructura socioterritorial de una ciudad, como lo es Santiago de Chile, a partir del análisis de imágenes satelitales de alta resolución espacial y el uso de datos censales, con el propósito de saber si es posible obtener conclusiones sobre la relación entre la

morfología física-espacial y el nivel socioeconómico de los habitantes, con énfasis en lo teórico y lo metodológico.

Por su parte, en Venezuela, en la última evaluación de la FAO (2011), la deforestación se ha evaluado en una tasa de 0.61 para el periodo 2005-2010. Estos resultados sitúan a Venezuela en los primeros puestos a nivel mundial en cuanto a tasas de deforestación, y son los responsables junto a los cambios en el uso de suelo de la actual situación del deterioro de la vegetación del país. Para analizar y comprender los factores causales de estos procesos de deforestación, Pacheco *et al.*, (2011), desde las Ciencias Forestales y Ambientales, y la Geografía, realizaron un estudio retrospectivo para evaluar las causas principales y subyacentes que han conducido a los procesos de deforestación en el país, desde la época precolombina hasta nuestros días. Efectuaron un estudio de casos, a nivel local, que les permitió identificar, en diferentes fechas y regiones, la frecuencia de los factores causales y las interacciones que condujeron a la deforestación.

En lo que respecta a América Latina y el Caribe, vistas como una sola región, ambas poseen aun abundantes recursos forestales, a pesar de que en el periodo 1980-90, la cantidad de deforestación se estimaba en 6.1 por ciento (FAO, 1996). Se reportaba que en 2010 casi el 49 por ciento de su superficie total estaba cubierta por bosques (FAO, 2011), y el papel de la población como detonante de la deforestación ya merecía especial atención y análisis que permitiera visualizar los nexos entre la relación población-deforestación.

En este sentido, diversos trabajos sobre el crecimiento de las ciudades siguen cayendo en el estudio de la regulación del suelo urbano, señalando que el crecimiento de la mancha urbana de una ciudad se explica, solo, por el crecimiento demográfico, ya sea de forma natural o generada por recepción de contingentes migratorios de personas de otras regiones del país. Sin embargo, y aunque con diferencias importantes entre los países desarrollados y los no desarrollados y en transición, el surgimiento de un cuerpo teórico sobre ciudades urbano-globales ha puesto atención a la relación entre planeación urbana, movimientos de población y reestructuración económica, apreciándose claramente que aún la migración rural-urbana sigue presente

y los movimientos desde y entre ciudades se están convirtiendo en los de mayor relevancia (Pérez y Santos, 2008:179).

2.1.3. Investigaciones y estudios de caso: México, ciudad de México y el Suelo de Conservación

Diversas obras e investigaciones de reconocidos estudiosos contextualizan el tema del cambio de uso de suelo por crecimiento urbano, migración humana y el deterioro ambiental por diferentes causas y circunstancias.

Dentro de este contexto, resaltan las investigaciones de Izazola *et al.* (1998 y 2004) y Pérez (2006), los cuales examinan el papel que tienen los flujos y patrones migratorios en las recientes décadas en la zona centro del país.

El trabajo de Izazola *et al.* (1998) describe las interrelaciones entre la migración, la degradación ambiental y la percepción del entorno en la ciudad de México, mediante la comparación de respuestas de personas nacidas en el lugar como de inmigrantes de ingresos medios y bajos, en hogares con condiciones ambientales deplorables, resaltando el hecho de que los hogares de bajos ingresos de inmigrantes relacionados con la propiedad del hogar y de la tierra eclipsan cualquier percepción ambiental, mientras que los residentes entrevistados de bajos ingresos consideran a los migrantes como la causa negativa del cambio ambiental en el lugar.

En la investigación de Izazola (2004) se estudian los flujos migratorios dentro y fuera de la ciudad de México entre 1995 y 2000, analizando las características sociales y económicas de los individuos involucrados. Además, se señala que en las últimas décadas se han producido cambios en los patrones migratorios, ya que la afluencia anterior de migrantes con destino a la ciudad de México pareció disminuir y ser superada en 1990 por una emigración neta. En el mismo estudio puntualiza la existencia de un equilibrio migratorio señalado en el censo del 2000 y demuestra que los procesos migratorios son dinámicos y complejos, los cuales responden a un alcance económico, ambiental, social, cultural y de factores políticos tanto en los lugares de origen como de destino.

Por su parte, en el estudio de Pérez (2006), el autor hace un balance migratorio de la ciudad de México, señalando en dicho estudio que la migración está íntimamente relacionada con factores regionales, es decir, no solamente la diferencia salarial entre regiones, sino toda una serie de fenómenos como la oferta de empleo, la oferta de vivienda, la búsqueda de mejores condiciones de vida, el crecimiento urbano, etc., atraen a la población.

Sobre la base de esas reflexiones de migración e integración urbana, el trabajo de Bazant (2001b) señala que las tendencias de investigación urbana se orientaban a comprender los procesos de crecimiento de las ciudades con diversos enfoques, tales como el económico, antropológico, social, político, transporte, ambiental, vivienda, servicios, entre otros, los cuales mostraban la organización y la funcionalidad de la ciudad y sus habitantes. En esta puesta en escena, el trabajo de dicho autor se basó en proponer un enfoque físico-espacial en sus análisis urbanos, pues enfatizaba que en ese plano espacial es donde convergen las fuerzas sociales, económicas y políticas que propician la expansión urbana de la ciudad.

Esto da hincapié a considerar la convergencia de fuerzas entre lo social y lo ambiental. El trabajo de Schteingart y Salazar (2003) muestra el análisis de algunas formas de expansión territorial en la Zona Metropolitana de la ciudad de México (ZMCM), su relación con el ambiente y, específicamente, con las Áreas de Conservación Ecológica⁵, donde pusieron énfasis en la incidencia del marco jurídico sobre los procesos de cambio de uso de suelo y en la movilización de la población involucrada en esos procesos.

Por ello se vuelve indispensable analizar jerarquías y redes que van surgiendo a través de dichos procesos. Esto es lo que propone el trabajo de Bazant (2010) cuando analiza la expansión urbana de las ciudades mexicanas desde un enfoque de planeación urbana. Enmarca que la ciudad está inserta dentro de una región o territorio

⁵ El Área de Conservación Ecológica del D.F., son superficies del suelo de conservación, cubiertas de vegetación natural, establecidas por acuerdo del ejecutivo local con los ejidos y comunidades, en terrenos de su propiedad, que se destinan a la preservación, protección y restauración de la biodiversidad y los servicios ambientales, sin modificar el régimen de propiedad de dichos terrenos (Gaceta Oficial del D.F., 21 de junio de 2006).

con singulares características ambientales; sobresale, además, la importancia del tamaño de las ciudades entre las cuales se tejen estrechas relaciones de interdependencia social, económica y funcional que se han generado a lo largo de décadas y siglos de historia. Incluso, derivado del estudio de dicho autor, es significativo mencionar que las redes que se tejen entre las ciudades, de manera natural, establecen jerarquías económicas, demográficas, sociales y funcionales entre las localidades urbanas que son parte de dicho sistema territorial o regional.

Numerosas investigaciones del mismo autor, utilizando imágenes satelitales y fotografía aérea, muestran ya interés acerca del papel de los asentamientos humanos de bajos ingresos y de las condiciones fisioespaciales en que ocurren las expansiones urbanas en las periferias de las ciudades, dando importancia a los patrones y modalidades que se presentan para abordar posteriormente su ordenamiento fisioespacial (Bazant, 2001b), o analizando el rol que tienen los programas de desarrollo urbano y sus normatividades como instrumentos de planeación urbana (Bazant, 2001a).

Mientras tanto, muchos planificadores urbanos, geógrafos, geomáticos, etc., se han dado a la tarea de utilizar nuevas herramientas de planificación, aplicando en sus investigaciones el uso de Sistemas de Información Geográfica. Por esta razón, tanto usuarios como desarrolladores continúan buscando la forma de implementar estas tecnologías SIG en su entorno de Planificación Urbana, en la Geografía y, con mucho énfasis, en la Geomática.

En este contexto, en la actualidad es posible crear y desarrollar modelos urbanos que pueden ser integrados con los Sistemas de Información Geográfica, la Percepción Remota, los GPS, la Topografía y otros tantos campos relacionados, con el fin de apoyar los trabajos de Geografía, Geomática y otras ciencias afines, a fin de descubrir problemáticas de localización y poner a prueba los efectos de las políticas o soluciones implementadas.

Resalta ante este hecho el trabajo realizado por el Instituto de Geografía de la UNAM y el Instituto Nacional de Ecología (INE) (2006) que describe y analiza el proceso de urbanización de la ciudad de México utilizando tecnologías geográficas como

Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica (SIG), desde la perspectiva de las grandes metrópolis o megaciudades. La investigación resalta cómo la urbanización presenta una serie de implicaciones sociales, económicas y ambientales, que hacen cada vez más difícil su desarrollo conforme el tamaño de la ciudad es mayor.

El artículo de López y Plata (2009) presenta un estudio de los cambios de cobertura de suelo ocurridos durante la década de 1990 producto del crecimiento urbano de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Se empleó una metodología que combina el uso de técnicas de clasificación digital y visual a partir de imágenes satelitales, sistemas de información geográfica (SIG) y análisis estadísticos. El fin era observar los cambios espacio-temporales ocurridos en la zona e identificar las coberturas de suelo sujetas a mayor presión por parte de la expansión urbana.

En estudios recientes, Santos y Guarneros (2004, 2006) calculan que la pérdida sobre el total de área de conservación ecológica está repartida de la siguiente forma: el 2.29% es pérdida sobre las áreas naturales protegidas (ANP) y el 9.9% se da en el SC por expansión urbana de la ciudad de México. Estos datos los calcularon con el empleo de imágenes de satélite para los municipios que incorpora el Estado de México a la ZMCM y el DF.

A su vez, la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), inicia un estudio en 2008 dentro del cual realiza un análisis de sobre-posición cartográfica en un Sistema de Información Geográfica sobre la zona de transición entre el suelo urbano y el suelo de conservación, determinando como zona de análisis el área de conurbación al sur de la línea limítrofe del suelo de conservación, y contemplando los poblados rurales, los programas parciales de desarrollo urbano y la dispersión de asentamientos irregulares, que denominó zona de traslape.

Sobre dicho estudio, la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (PAOT), se propuso la tarea de realizar un análisis espacial de la zona de traslape de los dos instrumentos de planeación urbana y ambiental de los Programas Parciales de Desarrollo Urbano y los Programas Generales de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PDDU, PGOEDF), empleando los procesos

metodológicos considerados en el estudio de la UACH y el análisis de imágenes del satélite *QuickBird* para cada una de las delegaciones políticas analizadas (PAOT, 2010).

De igual forma, el objetivo de la investigación de Rodríguez *et al.* (2011), fue establecer las tendencias del crecimiento urbano y el deterioro ambiental en el SCDF a partir de la evaluación de tres indicadores ambientales biofísicos: 1) patrones de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo, 2) un índice de calidad del suelo y, 3) los niveles de amenaza a la presencia de procesos gravitacionales. Con el fin de conocer las tendencias de uso de suelo y cobertura vegetal, realizaron un análisis multitemporal considerando los años de 1995 y 2007, realizando trabajo de fotointerpretación con ortofotos del año 1995 de INEGI y con una imagen SPOT del año 2007.

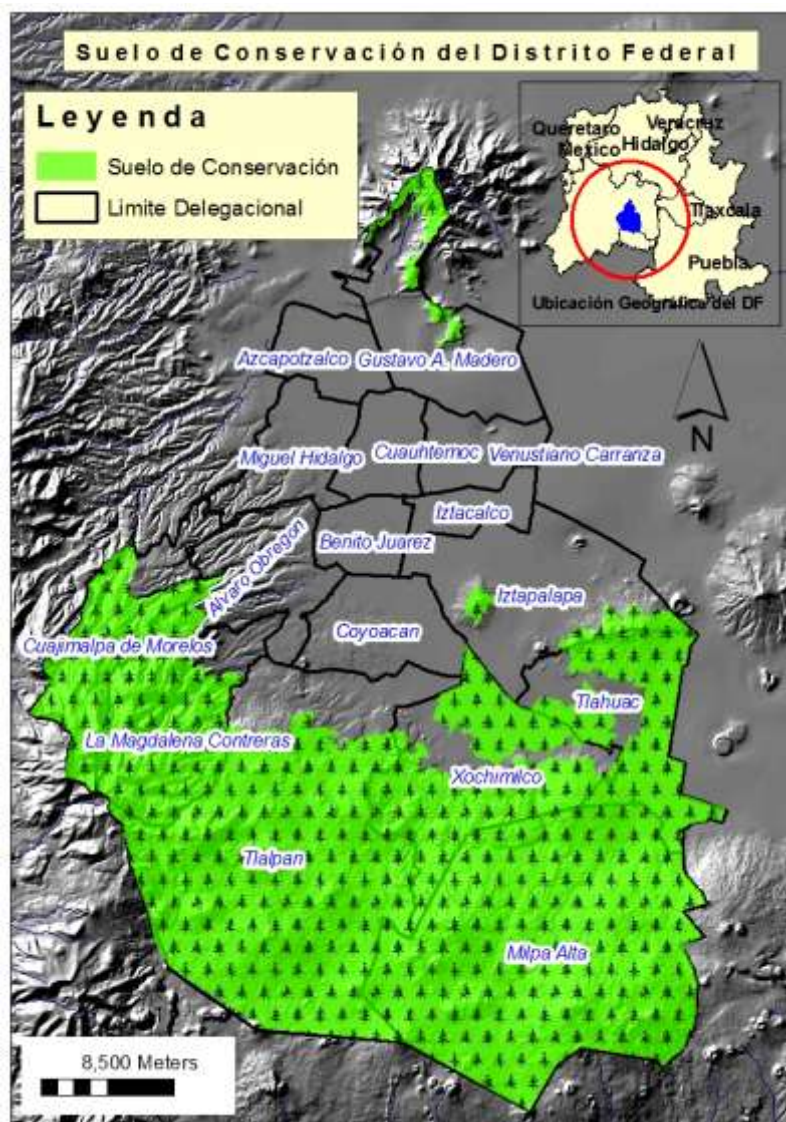
En este sentido, la observación, monitoreo y cuantificación del crecimiento de la mancha urbana y el avance de la deforestación –especialmente en ciudades como la ciudad de México- son un elemento relevante como base para tareas de planeación urbana, regional (Brujin, 1991) y de geografía y geomática. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), combinados con técnicas de Percepción Remota, están demostrando su utilidad como herramientas que permiten el análisis de problemas espaciales.

2.2. El área de estudio: descripción y análisis de las características biológicas, ambientales, socio-demográficas, socio-económicas y marco jurídico ambiental del Suelo de Conservación del D.F.

2.2.1. Características generales del área de estudio

El SCDF tiene sus antecedentes en el Plan Director para el Desarrollo Urbano del Distrito Federal de 1978; con este plan el territorio fue dividido en Espacios Urbanizados, Reservas Territoriales y Espacios Dedicados a la Conservación, que ya poseían características de mantener el equilibrio ecológico y el ambiente urbano (figura 2.1).

Figura 2.1. Mapa de ubicación del Suelo de Conservación en el DF



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Centro de Investigación en Geografía y Geomática, Centro GEO.

En lo relativo a la delimitación del área urbana y la de conservación ecológica, la declaratoria de 1982 la detalla de forma más minuciosa, tomando como referente Usos y Destinos para el Área de Conservación Ecológica del Distrito Federal (Sheinbaum, 2011).

Para fines administrativos, el Distrito Federal se encuentra dividido en Suelo Urbano y Suelo de Conservación; éste último se decretó en 1987 por el Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. El SCDF se distribuía principalmente

en las delegaciones de Xochimilco, Milpa Alta y Tlalpan. La delimitación de esta zona se definió de acuerdo con una Línea de Conservación Ecológica de 153.9 kilómetros (PAOT, 2002).

En general, esta área ocupa parte del territorio de las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa de Morelos, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, la Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco. Así, de esta manera, los límites del SCDF son: al norte, este y oeste, el Estado de México y al sur, el Estado de Morelos (CORENA).

Entrado el año de 1996, el Programa General de Desarrollo Urbano establece la estructuración de un espacio regional a través de la integración de un “sistema megalopolitano” de áreas protegidas, considerando un modelo de desarrollo que preserve y restaure las condiciones naturales y evite, a toda costa, la ocupación del SC. En este programa se modifica el término de “Área de Preservación Ecológica” por “Suelo de Conservación” y, por lo tanto, divide al Distrito Federal en Suelo Urbano y Suelo de Conservación (Sheinbaum, 2011).

La misma autora señala que no es sino hasta el año 2000, con la aprobación del Programa General de Ordenamiento Ecológico (PGOEDF) por la Asamblea Legislativa del Distrito Federal, que se construye un primer instrumento de política ambiental, y no solamente urbana, que norma los usos del suelo y las actividades productivas del SC. Este programa redefinió el SC para instaurarle una superficie de 88,442 hectáreas, que corresponden a poco más del 59% del territorio total de la entidad; este programa que se encuentra vigente hasta el día de hoy, sirvió de base para la elaboración del Programa General de Desarrollo Urbano de 2003.

Queda claro, entonces, según la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal⁶, en su artículo 30, fracción I, que “**Suelo de Conservación** [es aquel que]:

comprende el que lo amerite por su ubicación, extensión, vulnerabilidad y calidad; el que tenga impacto en el medio ambiente y en el ordenamiento territorial; los promontorios, los cerros, las zonas de recarga natural de acuífero; las colinas, elevaciones y depresiones orográficas que constituyan elementos naturales del

⁶ Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. Última reforma publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal: 11 de agosto de 2006.

territorio de la ciudad y aquel cuyo subsuelo se haya visto afectado por fenómenos naturales o por explotaciones o aprovechamientos de cualquier género, que representen peligros permanentes o accidentales para el establecimiento de los asentamientos humanos. Así mismo, comprende el suelo destinado a la producción agropecuaria, piscícola, forestal, agroindustrial y turística y los poblados rurales.

De estos territorios que conforman el SC, la sección más grande abarca una superficie de 87,204 ha, y se extiende por toda la Sierra del Chichinautzin, la Sierra de Las Cruces y la Sierra del Ajusco, el Cerro de la Estrella y la Sierra de Santa Catarina, así como las planicies lacustres de Xochimilco-Tláhuac y Chalco. Asimismo, la porción más pequeña del Suelo de Conservación abarca solamente 1,238 ha y está localizada al norte del Distrito Federal, en la Sierra de Guadalupe y el Cerro del Tepeyac. En suma, ambas porciones de territorio contabilizan las 88,442 ha que posee en la actualidad el SC.

En este sentido, esta investigación se concentrará en las delegaciones políticas de la periferia sur del SCDF, que abarcan la mayor proporción del área de conservación (tabla 2.1). Las delegaciones contempladas son: Álvaro Obregón (2.3%), Cuajimalpa de Morelos (6.7%), Magdalena Contreras (7.1%), Milpa Alta (32.2%), Tláhuac (7.5%), Tlalpan (29.4%) y Xochimilco (11.7%) (CORENA).

Tabla 2.1. Distribución del Suelo de Conservación en el DF

Delegación	Superficie Total por delegación (Hectárea)	Suelo de Conservación		
		Superficie (Hectárea)	Porcentaje por delegación	Distribución del Suelo de Conservación (Porcentaje)
Álvaro Obregón	8,850	2,735	30.9	3.1
Cuajimalpa	8,101	6,593	81.4	7.5
Gustavo A. Madero	8,729	1,238	14.2	1.4
Iztapalapa	11,605	1,218	10.5	1.4
Magdalena Contreras	6,609	5,199	78.7	5.9
Milpa Alta	28,464	28,464	100	32.2
Tláhuac	8,321	6,405	77	7.2
Tlalpan	30,871	26,042	84.4	29.4
Xochimilco	12,837	10,548	82.2	11.9
Total	124,387	88,442		100

Fuente: PGOE-DF 2000-2003

2.2.2. Características biológicas y ambientales

Dada la ubicación del SC, dentro del Eje Neovolcánico Transversal⁷, es necesario explicar la compleja topografía y las condiciones climáticas necesarias para la existencia de una alta biodiversidad de especies de flora y fauna, debido a que constituye una barrera entre las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical.

La compleja topografía: La mayor proporción (93%) del SCDF se sitúa en las serranías que delimitan a la Cuenca de México: hacia el sur, las sierras del Chichinautzin y del Ajusco; hacia el suroeste, la Sierra de Las Cruces; y hacia el norte, la Sierra de Guadalupe. El resto (7%) se incluye dentro del área lacustre de Xochimilco y Tláhuac. De este modo, si bien, la altitud del SCDF varía de 2,200 a casi 4,000 msnm, prácticamente la mitad de SC (48%) se ubica por encima de los 3,000 msnm. Esta característica del SC se refleja en la precipitación media anual y en la temperatura media anual; las delegaciones con precipitaciones mayores y temperaturas menores son Álvaro Obregón, Cuajimalpa, la Magdalena Contreras, Milpa Alta y Tlalpan (CORENA).

Dentro del área de estudio, en lo que respecta a las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan, ambas se caracterizan por poseer relieve montañoso, con intervalos altitudinales que oscilan entre 2,230 a los 3,680 msnm, con pendientes mayores a los 20° (Rodríguez, 2008), lo cual es posible identificar al observar la morfología de esta zona del SC. Conjuntamente, de acuerdo a Martín (1980), dicha área se encuentra geológicamente dentro de la formación del Chichinautzin, la cual está conformada por un conjunto de conos monogenéticos y productos volcánicos asociados, de reciente formación, como resultado de la continua actividad volcánica al finalizar el pleistoceno y el holoceno; en la región se localizan alrededor de 300 volcanes jóvenes (Bloomfield, 1975; Ricketts et al., 1999).

⁷ El Eje Neovolcánico Transversal se localiza entre los 17°30' y los 20° 25' de latitud Norte y los 96° 20' y 105° 20' de longitud Oeste, con una longitud media de 930 km de Este a Oeste y 120 km de Norte a Sur; limita a las sierras Madre Oriental, Occidental, del Sur y de Oaxaca, abarcando parte de los Estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Distrito Federal, Estado de México, Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala y Veracruz. En el eje se sitúan las elevaciones más altas de México que son el Pico de Orizaba (5 650m), el Popocatepetl (5 450m), el Iztaccíhuatl (5 280m), el Nevado de Toluca (4 560m), la Malinche (4 460m), el Nevado de Colima (4 340m), el Tancítaro (4 160m), el Tláloc (4 150m) y el Cofre de Perote (4 090m) (Rzedowski, 1978).

En el caso particular de la Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, dada su ubicación dentro de la Cordillera Volcánica Transmexicana, éstas presentan, también, un relieve montañoso que va de los 2470 msnm, en el noreste, a los 3850 msnm al suroeste (Álvarez, 2000).

Condiciones climáticas: según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el SC presenta climas del tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, un contenido de humedad atmosférico diverso (bajo-medio-alto), temperatura media anual que oscila entre los 16°C, en las partes de más baja altitud, y menos de 8°C en las partes altas, donde se localizan los climas semifríos, húmedos y subhúmedos, conteniendo gran humedad y registrando abundantes lluvias en el verano.

De igual manera, se diferencian dos estaciones climáticas bien definidas: la época de secas, que va de noviembre a abril, y la época de lluvias, que va de mayo a octubre; y de acuerdo a la clasificación de Köppen (modificada por Enriqueta García, 1987⁸), se tiene que el clima que impera en todo el SCDF es C(w2) (w), que significa templado húmedo con lluvias en verano, una precipitación media anual de 900 mm y una temperatura media anual de aproximadamente 14.5°C (CORENA). Sin embargo, en el DF se presenta en las sierras de Guadalupe y Santa Catarina, dos de las áreas con menor precipitación (alrededor de 600 mm anuales) (Sheinbaum, 2011:18) y la existencia de un gradiente climático que va de la zona noreste con áreas relativamente más secas y cálidas, que cambia a medida que se recorre la zona hacia el suroeste, donde se localizan las partes de menor temperatura y humedad; ejemplo de lo antes expuesto, el norte de la delegación Iztapalapa presenta características semiáridas, propias del clima seco tipo BS (CORENA).

Hidrología: en el SCDF se define la frontera de 29 unidades hidrológicas, de las cuales, 24 corresponden a microcuencas o pequeñas áreas de captación que conducen el agua a las partes bajas del SC. Otras 3 unidades vierten aguas en zonas asociadas al volcán Xitle, al Cerro de la Estrella y a la Sierra de Santa Catarina.

⁸ García M., E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta edición. Enriqueta García de Miranda. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.

La extensión de sedimento lacustre abarca 7.5% del SC y se ubica en las delegaciones Tláhuac y Xochimilco, principalmente. En Tláhuac, los sedimentos lacustres ocupan una extensión de 55% del SCDF de la delegación, mientras que en Xochimilco ocurren en una proporción menor (28%). Existen, además, dos planicies de inundación, la zona chinampera de Xochimilco y los humedales de Tláhuac⁹.

Geología y suelos: De la distribución espacial de la geología y suelos del SC, se puede mencionar que existen diversas clases edafológicas, por lo que algunos son de origen volcánico, presentándose Litosol, Andosol, Regosol y Phaeozem (INEGI, 1984), Andosol húmico, Feozem háplico, que cubren el SC, respectivamente. La superficie que abarca la brecha volcánica comprende 17% del SC; incluye todas las delegaciones excepto Álvaro Obregón y Magdalena Contreras.

La roca ígnea extrusiva intermedia se reparte en 17% del SC, en las delegaciones de Álvaro Obregón, Cuajimalpa, la Magdalena Contreras y Tlalpan. La roca ígnea extrusiva básica y la toba se extienden en prácticamente la misma proporción (10% cada una) dentro del SC. El basalto abarca la mayor extensión del SC (27%), en las delegaciones Iztapalapa, Milpa Alta, Tlalpan, la Magdalena Contreras y Xochimilco (INEGI, 2000).

De la misma fuente, se identifican 15 tipos de suelo en el área de estudio, de los cuales el Andosol húmico, el Litosol y el Feozem háplico abarcan 81% del área del SC. El Andosol húmico ocupa 32% del SC y se localiza en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, la Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco; el Litosol ocupa 26% del SC y se distribuye en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, la Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta, donde ocupa 42% del SC de la delegación; el Feozem háplico cubre 24% del SC y se reparte en todas las delegaciones (Ibíd.).

Con respecto a la **diversidad de vegetación, flora y fauna:** Las características del Eje Neovolcánico se manifiestan en la mayor parte de la zona sur del DF, en donde la vegetación del SC ocupa un importante número de hectáreas que incluyen bosques

⁹ Agenda ambiental de la ciudad de México. Programa de Medio Ambiente 2007-2012. Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal; página 20.

de oyamel, de pino, de encino, matorrales xerófilos, pastizales, así como vegetación acuática y subacuática.

Como se ha puntualizado anteriormente, la variedad de la flora mexicana refleja, en cierto modo, la increíble diversidad de climas y suelos causada por la accidentada topografía y la compleja estructura geológica de su suelo; esto se debe a que diferentes factores del medio no actúan en forma aislada, sino a menudo unos tienen influencia sobre la actividad de otros y no es raro que ejerzan entre sí acciones complementarias o antagónicas (Rzedowski, 2006:154). Al mismo tiempo, aunque hay evidente relación entre las condiciones climáticas que imperan en un territorio y la vegetación existente *in situ*, para clasificar a esta última se requiere partir de la vegetación misma (Miranda y Hernández, 1963:29).

De igual manera, es oportuno señalar que la distribución y la densidad poblacional de especies de vertebrados terrestres mantienen una relación simbiótica estrecha y compleja con la vegetación existente en el área de estudio. Estos simbiosistas¹⁰ poseen diferencias profundas en composición, riqueza de especies y abundancia relativa, asociadas con la composición, diversidad y estructura de las comunidades vegetales.

En estas comunidades vegetales se encuentran representados importantes porcentajes de biodiversidad del país, así como especies animales y vegetales endémicas. En el SCDF, la vegetación está constituida por bosques de pinos (*Pinus hartwegii*, *P. montezumae* y *P. leiophylla*), bosque de oyamel (*Abies religiosa*), bosque mixto (*Pinus* sp., *Alnus* sp., y *Quercus* sp.), pastizal y matorral (INEGI, 1984), bosque de pino y pino-encino, que guardan relaciones complejas entre sí, y con los cuales comparten afinidades ecológicas generales (Rzedowski, 2006:274); son el tipo de vegetación más representado y con mayor distribución en el SC (PGOEDF).

La importancia del suelo donde se localizan pinares y encinares radica en su profundidad, ya que puede ser usado para cultivos de maíz, frijol, cebada, avena, trigo, papa, haba, etc. (Miranda y Hernández, 1963:51). Asimismo, se podría pensar que

¹⁰ Me refiero a cada uno de los seres asociados e involucrados en simbiosis, es decir, en relación estrecha y persistente entre organismos de distintas especies, apreciándose una interactividad importante en asociación mutualista.

estos pinares prefieren suelos ácidos que los cercanos a lo neutral; por consiguiente, los suelos, derivados de rocas volcánicas del Eje Volcánico Transversal, parecen favorecer bastante a los pinos (Rzedowski, 2006:157).

Por su parte, aun cuando no cubren grandes superficies de terreno, los bosques de oyamel u abeto (*Abies spp.*)¹¹ sobresalen entre el conjunto de las comunidades vegetales dominadas por coníferas. Tal hecho se debe principalmente a las particulares condiciones ecológicas en que se desarrollan y de cuya existencia son indicadores. Destacan asimismo por su majestuosidad y belleza (Íbid.:315).

Estos bosques se localizan principalmente en la zona poniente del DF, a lo largo de la Sierra de Las Cruces; además se les puede encontrar distribuido en pequeños rodales de tamaño variable en las delegaciones Tlalpan y Milpa Alta. El bosque de oyamel, en las laderas norte del volcán Xitle, es casi puro y su estrato arbustivo está representado por *S. barba-johannis*, *S. tolucanus*, *Thelypodium pallidum*, *Plecosurus speciosissimus*, *Gentiana amrella var. acuta* (PAOT, 2010).

El bosque de encino (*Quercus spp.*)¹², que es uno de los más escasos del país, se presenta en algunos manchones en las delegaciones Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco. Son comunidades vegetales muy características de las zonas montañosas de México, y junto con los pinares constituyen la mayor parte de cubierta vegetal de áreas de clima templado y semihúmedo (Rzedowski, 2006:274).

Ocupa una zona delimitada por las cotas altitudinales de 2,500 y 2,800 msnm, sobre lavas gruesas y suelo escaso, comúnmente en exposición sur o suroeste y en la zona del pedregal del Ajusco; además es posible encontrarlo en la zona poniente, en las partes bajas de la Sierra de Las Cruces y a lo largo de algunas barrancas, extendiéndose por la zona urbana.

¹¹ Está formado por abetos, también llamados oyameles, romerillos y pinabetes. Son árboles altos que se desarrollan en climas fríos y algo húmedos, generalmente por encima de los 2,500 m, y casi siempre en suelos profundos. La especie de la parte central de México, conocida con el nombre de oyamel, es *Abies religiosa*. Estos bosques suministran importantes productos industriales, como pulpa para papel y madera, y sus suelos son cultivados con papa, centeno, cebada, haba, etc. (Mirada, 1963:53).

¹² Junto con los pinares constituyen las más extensas asociaciones vegetales de las zonas de clima templado o semifrío, semisecas o subhúmedas con época seca más o menos pronunciada, pero se les puede encontrar también en lugares de clima cálido en relación con sabanas. La altura del encinar, lo mismo que su densidad, está en relación en términos generales con la humedad del clima (Íbid., 51).

Estas barrancas y cañadas también poseen un ecosistema complejo. La estructura del bosque de cañada es más compleja que la de los demás tipos de bosque del SC. La altura media del dosel varía entre 10 y 40 m, con dos o tres estratos. El estrato arbustivo y herbáceo es rico en especies y tiende a ser más denso en las cañadas más húmedas. Y es que por ubicarse en áreas protegidas con microclimas húmedos y suelos ricos, estos bosques presentarán mayor diversidad de especies en la zona de estudio. Por lo tanto, su complejidad estructural ofrece condiciones ideales para la existencia de diversos hábitats para la fauna (PAOT, 2010).

Por otra parte, el matorral xerófilo incluye a las comunidades de porte arbustivo, típicas pero no exclusivas de las zonas áridas y semiáridas. En el DF se presenta en las sierras de Guadalupe y de Santa Catarina; también se presenta en una parte importante del derrame de lava del volcán Xitle (Sheinbaum, 2011).

Por otra parte, no deja de ser fundamental en la economía regional y local, la contribución de los productos forestales no maderables o PFM. Estos bosques proporcionan recursos maderables y no maderables a las comunidades rurales de la región, entre los cuales se resaltan resinas, que se extraen de algunas especies de los géneros *Pinus* y *Abies*; fibras, para cordelería, textiles, etc., ceras, por ejemplo, candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*); gomas, utilizadas en la industria alimenticia, así como ungüentos, bálsamos, cosméticos y pegantes; rizomas, empleados tanto para la extracción de sustancias de interés farmacéutico (por ejemplo, *Dioscorea composita*), como para uso alimenticio (Aráceas); “tierra de monte”, como mezcla de diferentes suelos forestales que se demanda para jardines, parques, hogares y viveros, y “otros productos”, que es una categoría general que abarca una gran diversidad de bienes tales como frutos, hongos, semillas, plantas medicinales, plantas ornamentales, incluyendo la no menos importante “tierra de monte” (Tapia y Reyes, 2008:98).

Con respecto a la fauna y su perspectiva ecológica, los mamíferos son muy importantes en las comunidades donde habitan, ya que existen especies de plantas que para su reproducción dependen de procesos de polinización (murciélagos, principalmente) o en algunos casos contados mamíferos se vuelven especies

dispersoras de semillas, resaltando la importancia del sistema de interacción planta-animal.

Los mamíferos de la región constituyen alrededor de 60 especies, representando más del 10 por ciento de la riqueza nacional. Los carnívoros como el coyote (*Canis latrans*) y el gato montés (*Lynx rufus*) juegan un papel muy importante en el control de especies de roedores. También algunas especies de murciélagos contribuyen con la polinización de plantas y flores, a la vez que algunos otros carnívoros omnívoros como el coyote y el cacomixtle (*Bassariscus astutus*) realizan la función de dispersores de semillas, sobre todo de especies que producen frutos como el tejocote y el capulín (Sheinbaum, 2011:19).

Desde el punto de vista regional, la distribución de los mamíferos depende de factores geográficos, climáticos y ecológicos, además de las relaciones de éstos con otras especies del mismo o de otros grupos taxonómicos.

Por si fuera poco, en la economía regional y local, la contribución de la fauna silvestre, y en particular la de los mamíferos, es substancial, principalmente en los sectores rurales; en los ecosistemas rurales templados y fríos son parte de la dieta cotidiana conejos, liebres, venados, etc. Los habitantes de la región siguen aprovechando la fauna de diferentes maneras: para alimentarse de ellas, para fabricar utensilios, por atribuirle propiedades curativas, por creencias religiosas e incluso se les caza para traficar o vender sus pieles (figura 2.2).

Con respecto a la fauna endémica, por ejemplo, Velázquez y Romero (1999) señalan que las aves son el mejor grupo que representan, casi, el 30% de la diversidad nacional, con alrededor de 300 especies. Dentro de este grupo destacan aves rapaces diurnas (gavilanes y halcones) y nocturnas (búhos y lechuzas), aves nectarívoras, especies insectívoras, colibríes, etc. Cabe hacer mención del gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*) (Oliveras y Gómez, 2002), que como ave terrestre endémica de la zona, su hábitat se está reduciendo cada vez más¹³.

¹³ Estudios recientes, realizados por académicos del COLMEX y la PAOT, señalan que el área boscosa del SC se ha reducido drásticamente, principalmente por la invasión de grupos sociales que forman asentamientos irregulares con la tolerancia de autoridades locales y federales; aunado a ello, la tala ilegal

Figura 2.2. Fotografía aprovechamiento de la fauna silvestre en el suelo de conservación



Fuente: www.masformas.com

Otras órdenes que destacan en la región sur de la ciudad son los roedores (*Rodentia*), los quirópteros o murciélagos (*Chiroptera*) y los carnívoros (*Carnivora*), mientras que a nivel de familia los que mejor se representan son los múridos (*Muridae*) y los filostómidos (*Phyllostomidae*). Sin embargo, hay que aclarar que existen muchos contrastes de la misma familia, pues mientras existen especies con buena distribución, como el caso del conejo castellano (*Sylvilagus floridanus*), existen los casos que tienen una distribución más limitada como el caso del conejo zacatuche (*Romerolagus diaz*), que como especie endémica de la cuenca, también corre el peligro de extinguirse (Velázquez y Romero, 1999).

En este contexto, la biodiversidad que aun existe en este espacio posee un índice de servicios o beneficios ambientales asociado a las especies y características ecológicas; sin embargo, y debido a la presión en el cambio de uso de suelo y la expansión de la mancha urbana, con medianas y altas tasas de urbanización, correrá el riesgo de registrar índices significativamente bajos de beneficios o servicios ambientales, “no sólo por razones biogeográficas sino también como un resultado

clandestina, la construcción de la próxima carretera “Arco Sur” y la carencia de programas y recursos básicos para operar la zona, todos estos factores perjudicarán la biodiversidad de la zona “al destruir el hábitat de especies únicas que se encuentran en peligro de extinción, tales como el conejo zacatuche y el gorrión serrano” (6 de enero de 2011. Milenio. Nota de Luis Velázquez).

directo de la intensidad de la urbanización sobre los ecosistemas” (Martínez y Monroy, 2009:29).

En este sentido, la fauna silvestre del SCDF enfrenta problemas de diversa índole u origen, entre los que se destaca la destrucción de su hábitat natural a causa de diversos procesos, principalmente de urbanización; los problemas de fragmentación parcial de sus hábitat para habilitar tierras para las actividades agropecuarias, la extracción de suelo forestal de manera extensiva o parcialmente continua, incendios forestales muy extensivos y constantes, la apertura de caminos para tránsito local y regional, así como los efectos provocados por la cacería intensiva y extensiva (Monroy, 1999:151) son sólo algunas de las causas que contribuyen a la reducción de su hábitat.

Servicios ambientales o funciones ecológicas: Para entender las funciones ecológicas que prestan los ecosistemas se debe entender el concepto de Servicios Ambientales (SA). Los SA son también conocidos como servicios ecosistémicos y ambos términos manifiestan funciones ambientales y procesos ecológicos. Pueden definirse como atributos de los ecosistemas naturales que muestran beneficios a la humanidad, es decir, constan de valores directos e indirectos a partir de la biodiversidad existente. Algunos valores directos se encuentran en forma de bienes materiales como madera, peces, productos farmacéuticos a base de plantas e infusiones a base de germoplasma para cultivos (Myers, 1996:2764).

El SCDF presta SA para la supervivencia de la ciudad, así como su alto valor ecológico. Los principales SA que presta este suelo son los siguientes: recarga del acuífero, regulación del clima (global y local), retención de suelos, retención de partículas suspendidas y captura de carbono, control de inundaciones, conservación de la biodiversidad, conservación de la diversidad de cultivos y de las formas de producción, espacios de recreación y preservación de paisajes (figura 2.3).

En lo referente a la zona montañosa, la principal zona de recarga del acuífero de la ZMCM es la Sierra del Chichinautzin-Ajusco; esta zona montañosa tiene como principal función la captación del agua para recargar los acuíferos, y es el cambio de uso de suelo, sobre todo de forestal o agrícola a urbano lo que está disminuyendo su capacidad de carga; además está aumentando gradualmente el riesgo de convertirla en

potencial vía de entrada de contaminantes (González-Morán *et al.*, 1999). Por otro lado, los bosques constituyen sumideros de carbono, por lo que son reconocidos por el valor que tienen para evitar el cambio climático global. Asimismo, los bosques del DF son fundamentales para la preservación del microclima de la ciudad.

Figura 2.3. Fotografía paisajes del Suelo de Conservación



Fotógrafo. Víctor Illescas.

Otro elemento que presta servicios en la zona es el suelo, donde la retención de suelos es uno de los principales SA de los bosques. La deforestación lleva implícita la erosión de suelos y con ello no sólo su pérdida, sino el arrastre de los mismos a las partes bajas de la ciudad, provocando azolvamientos del sistema de drenaje. Esta erosión conlleva también la falta de retención de agua y su arrastre hacia las partes bajas, provocando inundaciones y deslaves. De igual forma, la vegetación retiene polvos y contribuye a disminuir las partículas suspendidas en la atmósfera (Sheinbaum, 2011:20).

A grandes rasgos, los SA que ofrece la biodiversidad de un territorio son sin lugar a dudas muy importantes, probablemente mucho más que los beneficios directos de la biodiversidad en forma de bienes materiales, y es muy poco lo que se conoce acerca de la naturaleza, alcance y escala de estos servicios, ya sea en sentido económico o ambiental. Esto hace especial hincapié en continuar la investigación para aumentar

nuestra comprensión hacia los problemas ambientales que se vuelven aún más apremiantes por la incesante expansión del nicho humano y todo lo que conlleva la progresiva e imperante presión sobre los hábitat de la biodiversidad y los sistemas vivos (Myers, 1996:2768).

El Pago por Servicios Ambientales (PSA), como señala Ochoa (2009), *“puede ser un mecanismo de mercado funcional y eficiente si existe la información suficiente de los actores involucrados”*. No obstante, Perevochtchikova (2011) analiza que:

En la actualidad [muchos de los actores involucrados] desconocen la importancia de los SA, por lo cual el mercado presenta imperfecciones, ya que existe información asimétrica, debido a que la gran mayoría de la población tiene la percepción de que [por ejemplo] el agua es, por ende, un bien público el cual no tiene un precio.

Es necesario puntualizar, por último, que algunos SA básicos, como la purificación del aire o el filtrado del agua en las zonas rurales, son atendidos mediante políticas ambientales diseñadas *ad hoc*. Sin embargo, no se debe pasar por alto que uno de los componentes básicos de todo ecosistema terrestre, como es el suelo, se atiende de manera desarticulada y parcial (Cotler *et al.*, 2007).

2.2.3. Dinámica demográfica y condiciones socio-económicas de la población en delegaciones que poseen suelo de conservación

El proceso de concentración geográfica que ha presentado la ciudad de México, a lo largo de su historia, ha sido consecuencia de la centralización del desarrollo económico y político del país, que a partir de la década de los 40's del siglo pasado, contribuyeron a disparar la expansión física de la ciudad de forma acelerada, traducándose en patrones complejos de apropiación social del suelo y generando paisajes singulares con formas propias de expansión territorial horizontal. Aunado a ello, se generan problemáticas socioespaciales de las áreas suburbanas, como la *“marginalidad urbana, el clientelismo político y también la organización comunitaria; en otros casos el eje de análisis se ha construido sobre las migraciones campo-ciudad”* (Lindón, 1997:5).

A partir de 1970, el crecimiento de la ciudad se disparó de forma desordenada y expansiva, aumentando considerablemente su población de nueve millones de

habitantes a catorce millones para 1980 (Cruz, 1997). El SCDF, como parte de la expansión urbana, no es ajeno a este fenómeno, ya que se tomó la decisión de incorporar zonas ejidales al mercado de suelo urbano, y en la actualidad la renta económica está ejerciendo una presión constante en la competencia por la ocupación del suelo, incorporando las áreas agrícolas, o al menos frenando el uso agrícola ante la apertura de mercados de suelo urbanizable, puesto que *“los usos de suelo con mayor renta económica son aquellos que se derivan del proceso de urbanización como el residencial o el comercial, mismos que ejercen una presión sobre los usos encontrados en entornos naturales como el forestal o aquellos destinados a actividades rurales como la agricultura o la ganadería”* (Vieyra, 2011:75).

Aspectos socio-demográficos del área de estudio

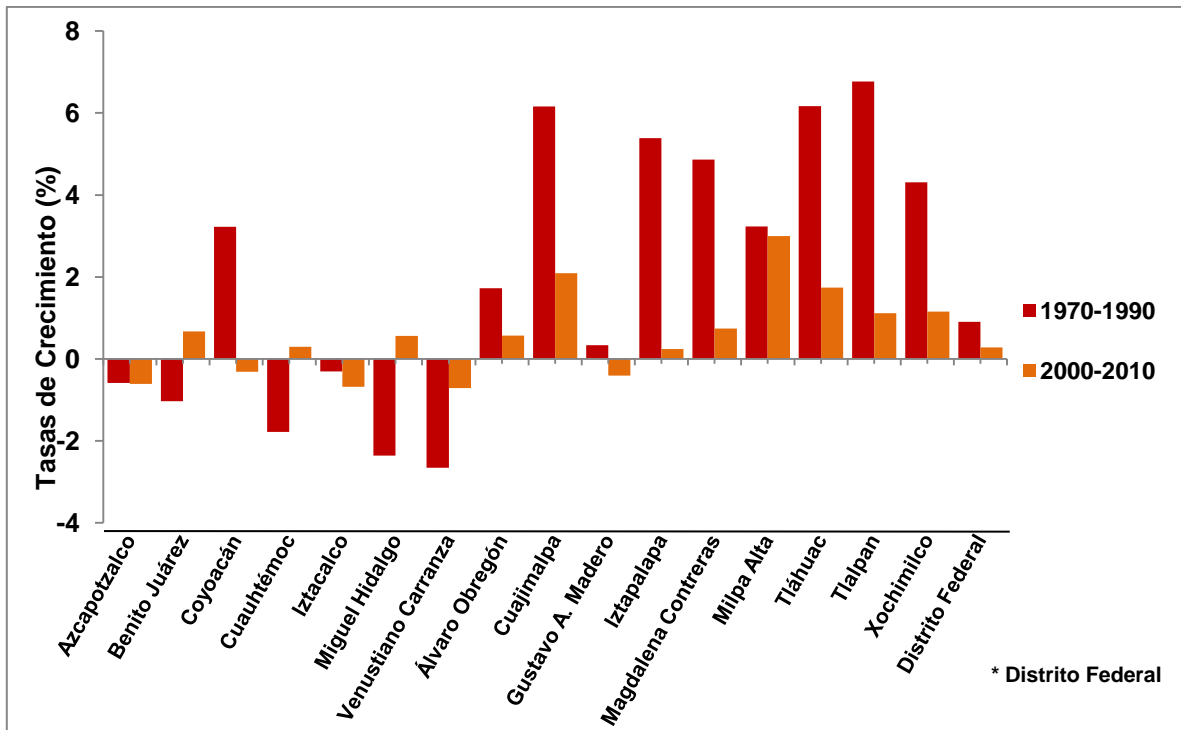
Bajo estos antecedentes, durante los últimos treinta años, la ciudad de México ha presentado la menor tasa de fecundidad del país. El ritmo de crecimiento de la población ha decrecido. Por ejemplo, de 1960 a 1970, la tasa era de 3.6 por ciento anual, y de 1990 a 2000, de 0.4 por ciento. De la misma manera, la tasa global de fecundidad ha mostrado una disminución considerable, registrando de 1970 a 1980 una tasa de 3.4 por ciento para disminuir de 1990 a 2000 a una tasa del 1.8 por ciento (CNDHDF, 2005).

Tasa de crecimiento poblacional: Se supone que aquellas delegaciones del DF que cuentan con SC deberían mantener ritmos de crecimiento poblacional por debajo de la media. Por ejemplo, López (2011:166) muestra que el *crecimiento poblacional medio anual* (ver anexo) entre 1970-1990, 1990-2000 y 2000-2005 en el DF fue de 0.9 por ciento, 0.3 por ciento y 0.3 por ciento, respectivamente. Es de resaltar que delegaciones como Cuajimalpa de Morelos, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco, han registrado en la última década tasas de crecimiento por encima de la media, como se señala en la figura 2.4.

En las últimas tres décadas el DF ha experimentado diversos procesos que van desde la disminución del crecimiento poblacional en la zona central de la ciudad, a un

crecimiento acelerado en las delegaciones periféricas, tal es el caso de las delegaciones con SCDF (figuras 2.5).

Figura 2.4. Gráfica de tasas de crecimiento poblacional en delegaciones del DF, 1970-2010

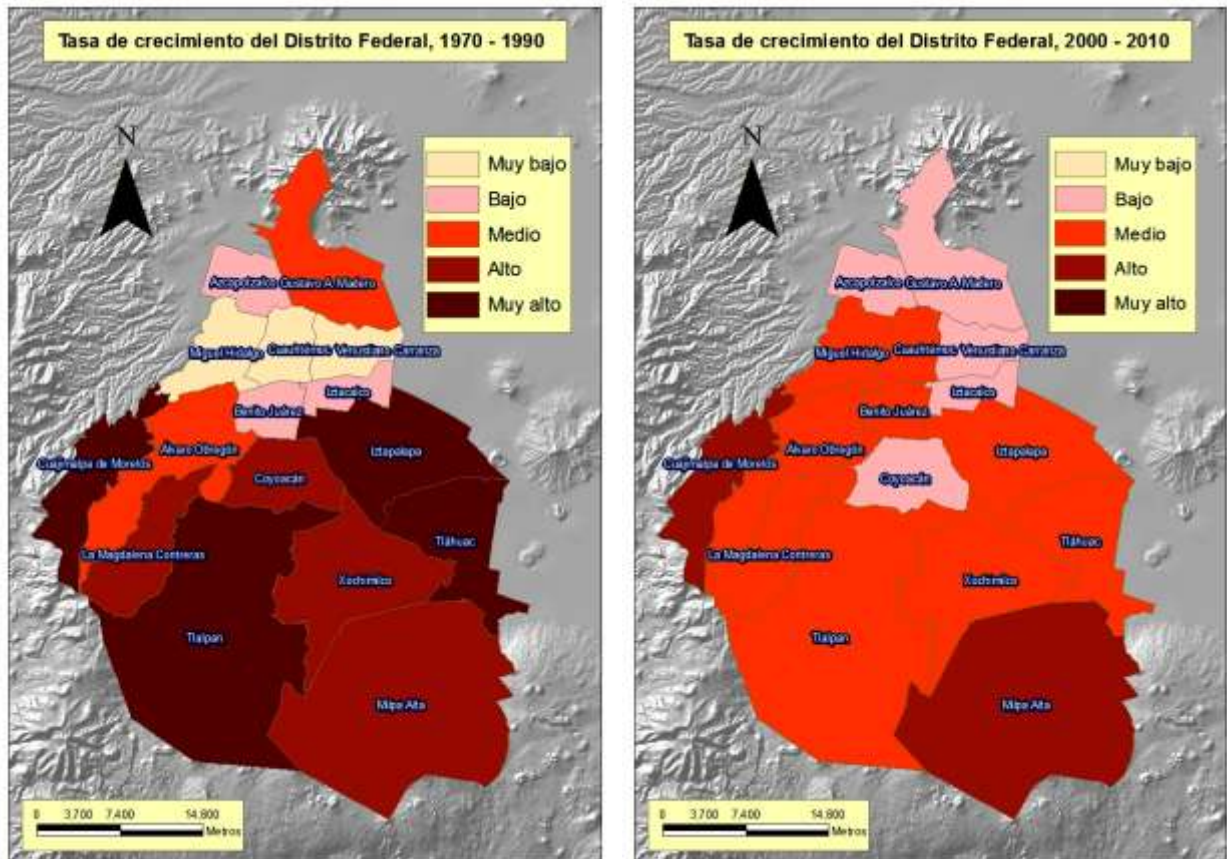


Así, diversos elementos forman parte de este vertiginoso crecimiento de la región sur del DF en las últimas décadas. El crecimiento demográfico de la ciudad central alcanzó sus máximos niveles de crecimiento y soporte para dar paso al proceso de expansión y difusión de la mancha urbana hacia la periferia norte, oriente y sur, respectivamente.

En la periferia sur, como se puede observar en la tabla 2.2, el crecimiento poblacional de estas zonas, natural y por inmigración de otros lugares de la ciudad o de municipios aledaños o de otros estados, es muy elevado. Mientras el crecimiento medio anual en el SCDF entre 1990, 2000 y 2010 (sin contabilizar las AGEBS de Gustavo A. Madero e Iztapalapa en SC) fue de 3.7 por ciento para el periodo 1990-2000 y 2.5 por ciento para el 2000-2010, el crecimiento promedio anual entre 1990-2000 y 2000-2010 en el DF fue de 0.3 por ciento y 0.3 por ciento.

Esto explica un ritmo de crecimiento demográfico nueve veces mayor en las Áreas Geoestadísticas Básicas AGEBs en SC con relación a la media registrada en el DF en el periodo 1990-2000 y de ocho veces mayor en el último periodo 2000-2010.

Figuras 2.5. Mapas tasas de crecimiento 1970-1990 y 2000-2010, en delegaciones del DF



En el año 2010, las delegaciones del sur con SC y con población distribuida dentro del área de conservación albergaban a una población de 894,836 habitantes, concentrándose su mayor parte en Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco. Es importante resaltar que para ese mismo año, las delegaciones que presentan tasas de crecimiento de población más elevadas corresponden a Magdalena Contreras (4.1%), Tlalpan (3%) y Cuajimalpa (2.7%). Cabe hacer mención que el incremento absoluto poblacional en el periodo 1990-2000 y 2000-2010 fue de alrededor de 212,075 y de 197,915 habitantes para ambos periodos de análisis.

De esta manera, en México se han observado cambios profundos en la dinámica demográfica durante la segunda mitad del siglo XX. En los últimos treinta años, la

respuesta de la población hacia una menor fecundidad, surge como consecuencia del balance ventajoso de tener familias de menor tamaño y la búsqueda por encontrar opciones mejores de desarrollo, en un contexto de fuertes oscilaciones en el crecimiento del producto nacional (Mejía y Mojarro, 2005:79). Sin embargo, más aún, si el crecimiento de la ciudad es indicativo de una migración rural-urbana, la presencia de gran número de inmigrantes rurales en las áreas urbanas, puede servir para explicar la disminución en el diferencial urbano-rural de la fecundidad en México (Zárata, 1967).

Tabla 2.2. Tasas de crecimiento de la población distribuida en el SC*, 1990-2010

DELEGACIONES**	Población Total			Tasa Crecimiento %	
	1990	2000	2010	1990 - 2000	2000 - 2010
Álvaro Obregón	40,198	52,624	65,564	2.7	2.2
Cuajimalpa	52,018	64,560	84,645	2.2	2.7
Magdalena Contreras	24,349	43,382	64,568	5.9	4.1
Milpa Alta	57,288	90,772	113,872	4.7	2.3
Tláhuac	66,277	102,092	127,633	4.4	2.3
Tlalpan	82,229	122,089	164,582	4	3
Xochimilco	162,487	221,402	273,972	3.1	2.2
<i>Total SC sin GAM e Iztapalapa</i>	484,846	696,921	894,836	3.7	2.5

** Estos cálculos se realizaron en base al total de AGEBS que pertenecen al SC

*Suelo de Conservación

Densidad de población: El crecimiento demográfico está presente en las periferias urbanas que están en constante transición. La periferia sur del SCDF no es ajena a este fenómeno, por lo cual desde hace décadas se han venido gestando patrones y transformaciones espaciales importantes, específicamente desde el periodo de 1970 a 2005. Como se observa en la tabla 2.3, el crecimiento demográfico observado en el DF se expresa en su *índice de densidad* (ver anexo), lo que significa que pasa de 5,513 hab/km² en 1990 a 5,925 en el año 2010.

Con respecto a la periferia sur, principalmente en las delegaciones con SC, se observa claramente un crecimiento importante en Cuajimalpa de Morelos, la Magdalena Contreras, Tláhuac y Xochimilco, al pasar de un índice de densidad de 1,477; 2,951; 2,484 y 2,112 hab/km² en 1990 a 2,301; 3,618; 4,330 y 3,233 en el 2010. Es de resaltar que las delegaciones Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta “se distinguen porque su

crecimiento no coincidió con la presencia de algún tipo de autopista importante, aunque sí con el crecimiento metropolitano al oriente –mediante la tradicional carretera Tláhuac-Chalco, por ejemplo-, y hacia los municipios conurbados como Texcoco e Ixtapaluca” (López, 2011:166).

Tabla 2.3. Densidad de población en delegaciones del Distrito Federal, 1990 - 2010

DISTRITO FEDERAL					
Delegaciones	Densidad de Población 1990 - 2010 hab/Km²				
	1990	1995	2000	2005	2010
Azcapotzalco	14,255	13,668	13,243	12,772	12,454
Benito Juárez	15,314	13,892	13,537	13,331	14,474
Coyoacán	11,853	12,102	11,860	11,631	11,489
Cuauhtémoc	18,371	16,658	15,914	16,071	16,394
Iztacalco	19,241	17,982	17,653	16,954	16,495
Miguel Hidalgo	8,657	7,754	7,504	7,523	7,934
Venustiano Carranza	15,548	14,531	13,848	13,389	12,896
Álvaro Obregón	7,263	7,649	7,763	7,984	8,215
Cuajimalpa	1,477	1,690	1,867	2,143	2,301
Gustavo A. Madero	14,527	14,399	14,154	13,669	13,584
Iztapalapa	12,844	14,620	15,281	15,691	15,647
Magdalena Contreras	2,951	3,206	3,360	3,464	3,618
Milpa Alta	224	285	340	407	459
Tláhuac	2,484	3,075	3,639	4,135	4,330
Tlalpan	1,571	1,790	1,885	1,968	2,107
Xochimilco	2,112	2,589	2,881	3,151	3,233
Distrito Federal	5,513	5,682	5,760	5,837	5,925

Fecundidad, Natalidad y Mortalidad: En los últimos años la situación demográfica de México muestra importantes cambios. El INEGI contabilizó el 12 de junio del 2010 un total de 112,322,757 habitantes en el país. En el caso del DF, la misma dependencia registró un total de 8,851,080 habitantes. Con respecto a las delegaciones con SC (periferia sur), exceptuando a los habitantes de las delegaciones Gustavo A. Madero e Iztapalapa, se contabilizaron un total de 2,708,932 personas al levantarse el censo del 2010. Si se analiza y compara esta cifra con la que se registraba en la década de 1970, para el mismo conjunto de delegaciones de la periferia sur con SC, se tiene un total de 911,663 habitantes; se concluye que entre ambos periodos (1970-2010) la periferia sur ha aumentado casi 3 veces su población con respecto a la de 1970 (tabla 2.4).

Tabla 2.4. Crecimiento poblacional en Delegaciones del Distrito Federal, 1970-2010

DELEGACIONES CON SC*	DINÁMICA ESPACIAL DE LA POBLACIÓN EN PORCENTAJE 1970-2010					
	Población Total			Crecimiento o Decremento en %		
	1970	1990	2010	1970-1990	1990-2010	1970-2010
Álvaro Obregón	456,709	642,753	727,034	41	13	59
Cuajimalpa	36,200	119,669	186,391	231	56	415
Gustavo A. Madero	1,234,376	1,268,068	1,185,772	3	-6	-4
Iztapalapa	522,095	1,490,499	1,815,786	185	22	248
Magdalena Contreras	75,429	195,041	239,086	159	23	217
Milpa Alta	33,694	63,654	130,582	89	105	288
Tláhuac	62,419	206,700	360,265	231	74	477
Tlalpan	130,719	484,866	650,567	271	34	398
Xochimilco	116,493	271,151	415,007	133	53	256

*Suelo de Conservación

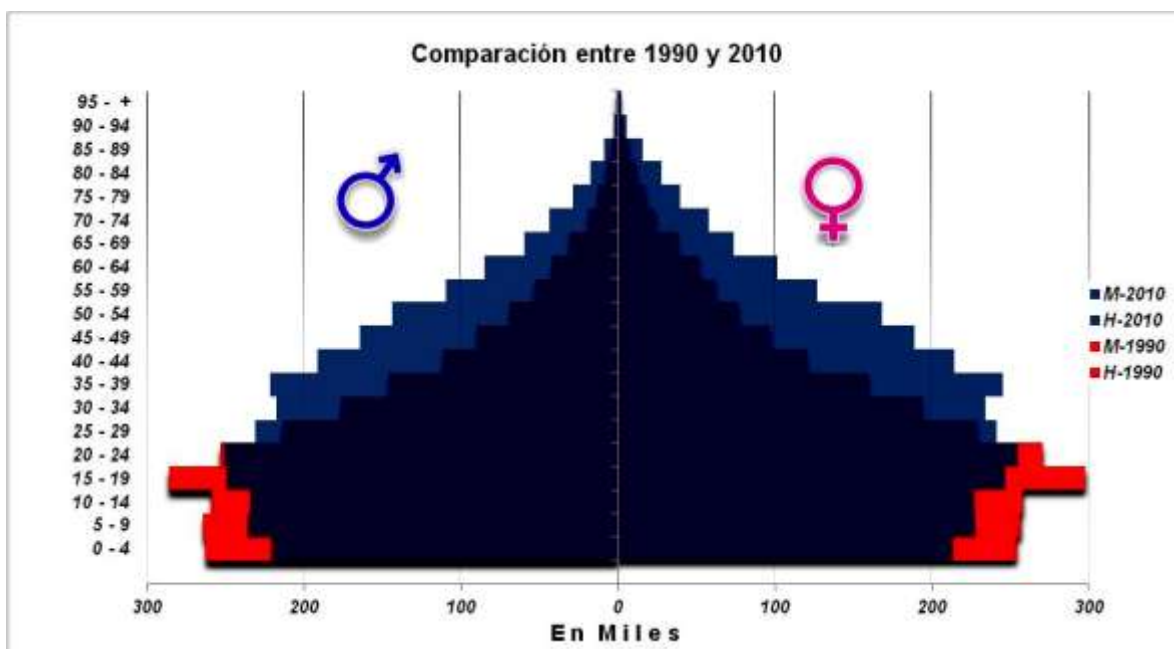
La estructura de la población también ha sufrido modificaciones en las últimas décadas por el aumento de la inmigración, la reducción paulatina de las tasas de mortalidad y como consecuencia el incremento de la esperanza de vida al nacer. De igual manera, las tasas a la baja de fecundidad (nacimientos) y de mortalidad (muertes), junto con la inmigración de familias, ha propiciado un aumento en la población de la región y ha modificado su estructura poblacional. En 1990 la población menor de 15 años de las delegaciones del DF con SC (incluida GAM e Iztapalapa) representaba el 32.8 de la población y la de más de 65 años sólo el 3.8; para el año 2010 el primero representa el 24.1 y el segundo el 6.8.(figura 2.6).

La presión poblacional que se ejerce actualmente sobre el SC se debe al alto grado de desarrollo social y económico que sigue pesando sobre el DF, después de lograr la transición demográfica al pasar de altas a bajas tasas de fecundidad y mortalidad. Sin embargo, estos fenómenos demográficos no se han comportado de manera homogénea en cada una de las delegaciones que componen el DF.

En la tabla 2.5, se muestra el crecimiento del área de conservación en los últimos veinte años; se puede analizar y deducir, al mismo tiempo, que la ciudad central ya registraba tasas de crecimiento negativas que venían generándose desde 1970,

mientras que la periferia sur ya comenzaba a destacar sus altas tasas de incremento demográfico a partir de la misma década.

Figura 2.6. Gráfico de pirámides de población por grupos de edad y sexo de las delegaciones del DF con Suelo de Conservación, 1990 y 2010



Fuente de los datos: XI y XIII Censos Generales de Población y Vivienda, INEGI 1990 y 2010.

Tabla 2.5. Dinámica espacial en AGEBS urbanas en Suelo de Conservación, 1990-2010

DINÁMICA ESPACIAL DE LA POBLACIÓN EN EL SC* EN PORCENTAJE 1990-2010						
AGEBS** en SC:	Población Total en SC*			Crecimiento en %		
	1990	2000	2010	1990-2000	2000-2010	1990-2010
Álvaro Obregón	40,198	52,624	65,564	31	25	63
Cuajimalpa	52,018	64,560	84,645	24	31	63
Magdalena Contreras	24,349	43,382	64,568	78	49	165
Milpa Alta	57,288	90,772	113,872	58	25	99
Tláhuac	66,277	102,092	127,633	54	25	93
Tlalpan	82,229	122,089	164,582	48	35	100
Xochimilco	162,487	221,402	273,972	36	24	69
Total sin GAM e Iztapalapa	484,846	696,921	894,836	44	28	85

** Cálculos en base al total de AGEBS que pertenecen al SC *Suelo de Conservación

Nótese que entre 1990-2010 algunas delegaciones de la periferia sur con SC, casi duplicaban su tamaño poblacional. Tales son los casos del SC de las delegaciones

Milpa Alta y Tláhuac con 99% y 93% respectivamente. Otras delegaciones como Tlalpan y la Magdalena Contreras registraban niveles altos de crecimiento demográfico, al grado de aumentar en más del doble su población dentro de las diferentes AGEBs¹⁴ que pertenecen al SC.

Lo anterior demuestra que aun cuando se ha observado una rápida declinación de la fecundidad y de la mortalidad y un aumento en la inmigración en algunas regiones de la periferia sur del DF, aún se perciben grandes diferencias en su composición demográfica (grupos de edad, condición de género, etc.), urbana, social, económica, política y ambiental.

Asimismo, la fecundidad y mortalidad, han influido en las tasas de crecimiento poblacional de manera diferenciada en las distintas etapas del desarrollo urbano de la periferia de la ciudad de México.

La fecundidad, como componente en la determinación del volumen de la población y el crecimiento demográfico, también ha jugado su papel en la conformación del crecimiento natural de la ciudad y su periferia sur. Por ejemplo, el promedio de hijos nacidos vivos por mujer en las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa de Morelos, Tlalpan y Xochimilco en el año 2000, es de 2.1, 2, 1.9 y 2.1, respectivamente (INEGI, 2001).

Migración y vivienda: La expansión urbana hacia el SC está siendo cada vez más recurrente. Destaca el hecho del crecimiento poblacional y cómo el mismo incide en este territorio tradicionalmente agrícola, llevándose a cabo cambios y transformaciones notables, que cada vez permiten una mayor integración funcional en el contexto metropolitano (López, 2011:164). Un ejemplo lo ofrece el trazado y las características de las vías de comunicación que han sido factor impulsor de la ocupación del SCDF, *“ya que se ha observado que la construcción de caminos y carreteras tiene como corolario la proliferación de asentamientos urbanos”* (Centro Geo, 2004).

¹⁴ La clasificación a nivel AGEB permite apreciar las diferencias con mucha mayor claridad debido a que los grandes promedios que están detrás de los indicadores estatales o municipales, disimulan o suavizan algunas situaciones (INEGI, 2000).

Durante las últimas décadas, el deterioro y abandono de las áreas centrales del DF son uno de los aspectos más importantes dentro de la dinámica urbana. Diversos factores han contribuido al abandono, entre los que se destacan la economía informal y las fallas del mercado inmobiliario. En este caso, tanto la infraestructura, el equipamiento, las rentas y el suelo de las delegaciones centrales se ha encarecido paulatinamente, esto ha propiciado que sus pobladores, muchos de ellos sin recursos económicos fijos, tengan que buscar otras alternativas de espacios para la vivienda.

De esta manera, en los últimos años la oferta de vivienda en la periferia sur del DF (tabla 2.6) se enfrenta a serios problemas, entre los que se destacan el crecimiento de la población, la inmigración y la aplicación de programas de vivienda desarrollados por instituciones públicas y privadas. Adicionalmente, el crecimiento desordenado de la ciudad hacia su periferia, junto con la falta de suelo disponible con aptitud habitacional, ha permitido el establecimiento de asentamientos humanos más irregulares que regulares en zonas que en muchas ocasiones no son aptas para su desarrollo (CORENA).

Tabla 2.6. Promedio de ocupantes por vivienda del DF y delegaciones con SC*, 1990-2010

Delegaciones con SC	Viviendas particulares habitadas			Ocupantes			Promedio ocupantes		
	1990	2000	2010	1990	2000	2010	1990	2000	2010
Álvaro Obregón	134,488	165,186	194,919	640,816	685,191	716,895	4.8	4.1	3.7
Cuajimalpa	23,446	34,043	46,438	119,660	151,137	181,914	5.1	4.4	3.9
Gustavo A. Madero	263,118	298,027	315,788	1,261,071	1,225,056	1,156,511	4.8	4.1	3.7
Iztapalapa	295,557	407,548	453,752	1,482,895	1,764,801	1,774,186	5	4.3	3.9
Magdalena Contreras	40,285	52,793	62,703	194,284	221,355	237,059	4.8	4.2	3.8
Milpa Alta	12,328	21,560	31,589	63,603	96,758	129,882	5.2	4.5	4.1
Tláhuac	39,359	70,473	90,275	206,019	302,570	357,087	5.2	4.3	4.0
Tlalpan	103,865	142,071	170,428	477,407	575,533	630,050	4.6	4.1	3.7
Xochimilco	53,026	82,078	101,124	268,328	369,787	402,063	5.1	4.5	4.0
Distrito Federal	1,798,067	2,131,410	2,388,534	8,192,002	8,561,469	8,595,130	4.6	4	3.6

*Suelo de Conservación

Se sabe que la oferta de vivienda de interés social, sobre todo para grupos de ingreso relativamente bajos, se ha incrementado en la periferia metropolitana. Por

mencionar varios casos, en el año 2000, la delegación Álvaro Obregón tenía un total de 165,186 viviendas particulares habitadas, esto es, 42,950 más que las que registraba en 1980, ocupando el octavo lugar de las jurisdicciones con mayor ritmo de crecimiento de viviendas particulares, cuya tasa de crecimiento fue de 2.1 por ciento (INEGI, 1991, 2001).

Por su parte, la delegación Xochimilco en el 2010 contabilizó un total de 101,124 viviendas particulares habitadas, registrando 61,997 más que las contabilizadas en 1980 (INEGI, 2010). Dentro del periodo 1990-2000, Xochimilco ocupó el tercer lugar de las jurisdicciones con mayor ritmo de crecimiento de viviendas particulares, cuya tasa de crecimiento fue de 4.7 por ciento (Ibídem).

Es notorio que dentro del SCDF continúa un proceso de adquisición de tierras y la consecuente apropiación del espacio por parte de la población urbana de bajos ingresos fuera del SCDF que adquiere un terreno porque no puede comprar en el mercado formal debido a los altos costos. No obstante, aunque ya se registran menos invasiones de tierra, aún se percibe una clara expansión de las áreas construidas a través de la *urbanización hormiga*¹⁵. A través de este proceso van surgiendo construcciones (cuartos) a las ya existentes, debido a la continuación de la subdivisión de lotes y la venta ilegal de tierra, y a los funcionarios locales que no tienen competencia para detener las nuevas construcciones (Aguilar y Santos, 2011:115).

Por lo tanto, es importante resaltar que la falta de espacios territoriales para el futuro crecimiento urbano de DF continuará fomentando que el SCDF *“siga funcionando como reserva territorial para que los grupos pobres se concentren en asentamientos irregulares, lo cual representa otra debilidad más de la política urbana”* (Ibíd.105).

En este sentido, el conocimiento de la vivienda no sólo es su descripción, sino más bien es un espejo de la dinámica social, sus condiciones, sus aspiraciones y sus limitaciones para avanzar en el conocimiento de las viviendas del SCDF, como uno de los medios fundamentales para la planeación del desarrollo urbano (Juárez, 2003).

¹⁵ Es una expansión de los asentamientos humanos ya existentes en el SCDF de pequeñas dimensiones, pero en un corto y mediano plazo significa grandes pérdidas de superficie de suelo en varios de sus frentes (INE e IG, 2006).

Con relación a la migración de personas hacia el SC, en los últimos años el desplazamiento de las personas de un lugar a otro se debe al establecimiento de una nueva residencia. También, en muchos casos, obedece al interés por alcanzar un mejor nivel de bienestar.

Así pues, el DF registró en 1990 y 2000 un 74.6% y 76.5% de población nacida en la entidad. La población nacida en otra entidad se ubicó en 24.2% y 21.2%. Por último, la población nacida en otro país registró 0.7% y 0.7% total censada en ambos períodos. Se nota la disminución paulatina de 3% entre 1990 y 2000 de la población nacida en otra entidad con respecto a la población nacida en la entidad (INEGI, 1991 y 2001).

Sin embargo, cuando se analizan las variables anteriores a nivel delegacional del SC, el panorama parece cambiar radicalmente. Por mencionar varios ejemplos, en el caso de la delegación Álvaro Obregón, la población nacida en la entidad se ubicó en 76.05% para 1990 y 78.09% para 2000, los nacidos en otra entidad en 22.67% y 19.72% para 1990 y 2000. La población nacida en otro país significó el 0.77% para 1990 y 0.73% para 2000. En Tlalpan, la población nacida en la entidad, para 1990 y 2000 fue de 73.01% y 74.62%. Con respecto a los nacidos en otra entidad, los porcentajes fueron 25.41 y 22.98, y por último, los nacidos en otro país les correspondió 0.77% y 0.77% (Ibídem).

Esto demuestra que más del 20% de la población total censada en el DF y en las delegaciones Álvaro Obregón y Tlalpan, según lugar de nacimiento en 1990 y 2000, son personas nacidas en otra entidad del país, es decir migrantes.

En resumen, la relación población – espacio, resulta condicionada en forma permanente por las modalidades y magnitudes que asume la migración de la población, tanto interna como internacional. Es necesario considerar también que *“toda variación en la distribución territorial de los efectivos humanos tiene implicaciones de política pública así como en la economía en cuanto afecta la demanda de bienes (incluido los inmuebles) y servicios (educativos, salud, agua potable, etc.)”* (López, 2007).

Si bien, en las delegaciones con SC habitan más de 2.2 millones de personas, es interesante resaltar que de éstos, más de 700,000 pobladores interactúan directamente

con los recursos del SC, distribuyéndose entre los 47 poblados rurales que existen, y representando, a la vez, el 8 por ciento de la población total del DF (Agenda 2007-2012).

De esta manera, la tasa de crecimiento poblacional ha disminuido en el DF, el problema es la densidad de población, ya que es de las más altas del país. Se destaca que de continuar con las dinámicas actuales de crecimiento urbano y cambio de uso de suelo, los bienes y servicios ambientales, de los cuales depende la ciudad de México, se verán significativamente disminuidos en calidad y cantidad afectando severamente la calidad de vida de los habitantes de la región (Ibídem).

En este sentido, algunos de los retos actuales que enfrenta la región se resumen en los siguientes: alcanzar el crecimiento cero de los asentamientos humanos irregulares, frenar el avance del crecimiento *hormiga* y revertir la ocupación ilegal mediante la recuperación y restauración de los espacios de mayor valor ambiental. Ampliar la superficie sujeta a protección bajo esquemas de áreas naturales protegidas (ANP), áreas y reservas comunitarias de conservación ecológica (Ibídem). A partir de este diagnóstico de indicadores socio-demográficos, se prevén los escenarios posibles de continuar las tendencias de crecimiento y ocupación actuales, a partir de los cuales se reconoce la importancia que tiene la ciudad de México y sus habitantes para aprovechar racionalmente el SC (PAOT, 2003:2).

Tenencia de la tierra y aspectos socio-económicos en la periferia de la ciudad y el Suelo de Conservación

Tenencia de la tierra: Estudios recientes sobre diversas regiones de México han demostrado que la propiedad de la tierra en la época prehispánica no era tan comunal como sostienen muchos eruditos. En la investigación de Lockhart, dicho autor no utiliza el concepto de ejido pero redefine conceptos que contemplan complejas unidades sociopolíticas como las llamadas *altépetl*¹⁶ y *calpulli*¹⁷ en las que “ciudades-estado”

¹⁶ *Altépetl* es un término náhuatl definido por Lockhart como “cualquier estado soberano; en México central, generalmente los estados étnicos locales que los españoles daban por llamar pueblos y que se convirtieron en municipios después de la conquista”. El entendimiento de cómo funcionaba esta entidad

asignaban la mayor parte de la tierra a ciudadanos que la trabajaban sobre la base del grupo familiar, pero reservando algunas tierras para uso comunal (Varo, 2002:76).

Con el propósito de adaptar los sistemas españoles de tenencia de la tierra a las formas de propiedad indígena, y para que éstas fueran adecuadas para el cobro de tributos, la Corona española dispuso que cada pueblo fuera dotado de un fundo legal, que era la tierra destinada a que los indígenas establecieran sus asentamientos urbanos: de un ejido¹⁸, que era un área de aprovechamiento colectivo donde pastaran los ganados de los indígenas para que no se revolvieran con los de los españoles, para la recolección de leña, etc., esta superficie era inalienable y debía ser controlada por un consejo del pueblo; de los propios, propiedad de tipo municipal que era trabajada en forma común arrendada y cuyo producto se destinaba al sostenimiento del gobierno local y al pago de impuestos; y de las tierras de común repartimiento, que eran las áreas de cultivo trabajadas individualmente bajo la estrecha supervisión de la comunidad.

Con estos antecedentes y de acuerdo con el Registro Agrario Nacional, existen 44 ejidos y comunidades con tierras en el DF reconocidas y sin conflicto agrario, de los cuales 31 tienen superficie en el SC (Sheinbaum, 2008). Entre poblados rurales y asentamientos irregulares se estima el 14.1 por ciento; propiedad ejidal y comunal el 69.6 por ciento (incluida el ANP de Xochimilco), propiedad nacional o gubernamental, el 9.8 por ciento, y otras, el 6.6 por ciento (Sheinbaum, 2011) (tabla 2.7).

sociopolítica precolombina (la cual mantuvo su identidad hasta los últimos tiempos del periodo colonial y continúa teniendo una profunda influencia en las concepciones de los pueblos mexicanos hasta hoy en día) que este erudito ha traído a la luz del conocimiento es esencial para el estudio y la reconsideración de los desarrollos de la historia mexicana (Lockhart, 1992:20).

¹⁷ *Calpulli*: parte constituyente, subdistrito de un *altépetl* (Ibíd., 21).

¹⁸ En castellano la palabra ejido se refiere a las tierras de uso colectivo que existían en las comunidades campesinas de la península ibérica y que se localizaban en la salida de los pueblos. En estas tierras los miembros de la comunidad podían llevar a pastar su ganado, recolectar plantas, cortar madera, recoger leña, cazar, pescar, etc. De ahí su nombre en español antiguo “exido”, y éste a su vez del latín *exitus* “salida”. Cabe hacer notar que un rasgo común a todas las sociedades agrarias es la existencia de terrenos comunales para realizar dichas actividades (Morett, 1992:36-42; citado en Varo, 2002:83).

En el caso de las delegaciones urbanas con núcleos agrarios como Azcapotzalco, Coyoacán y Venustiano Carranza, prácticamente los núcleos agrarios han ido disminuyendo hasta el grado de casi desaparecer en su quantum de dotación de tierras, siendo el principal eje de absorción el crecimiento urbano de la ciudad. En el caso de delegaciones con SC y núcleos agrarios como Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco, si bien, aunque existen áreas protegidas, áreas comunitarias de conservación, reservas comunitarias y parques nacionales, en realidad existen con forma y peso específico núcleos agrarios que detentan claramente propiedad y posesión. Con respecto a GAM e Iztapalapa, ambas poseen SC, y éste forma parte en su totalidad de áreas naturales protegidas.

Tabla 2.7. Tenencia de la tierra en el Suelo de Conservación

ESTIMACIÓN DE LA TENENCIA DE LA TIERRA EN EL SUELO DE CONSERVACIÓN		
	<i>Superficie (has)</i>	<i>Porcentaje</i>
Total	88,444.0	100.0
ANP	8,624.6	9.8
Núcleos agrarios reconocidos y en conflicto	61,522.4	69.6
Asentamientos irregulares	2,344.0	2.7
Poblados	10,154.0	11.5
Otras	5,799.0	6.6

Fuente: Sheinbaum, 2008

Asimismo, según establece el Registro Agrario Nacional, se comentó que existen 44 ejidos y comunidades. Vale la pena ilustrar que hacia los años veinte del siglo pasado, al término de la lucha armada, el número de ejidos y comunidades era de 96, y la única delegación que no tenía ese tipo de propiedad era lo que hoy es la delegación Cuauhtémoc. Con estos datos podemos observar que más de la mitad de esos núcleos agrarios han desaparecido y muchos de los que aún existen, sólo existen en papel, particularmente aquellos que están ubicados en Suelo Urbano, que no tienen tierras o que carecen de ellas (Ruiz, 2011).

Finalmente cabe aclarar que al referirme al SC se debe tomar muy en cuenta a las instituciones que lo administran y a las personas que lo habitan. Se sabe que por lo regular ejidatarios y comuneros habitan en alguno de los lugares urbanos o poblados

rurales que conforman este espacio multifuncional. Esto da pie a considerar a otros habitantes que también forman parte de esta interacción: los habitantes de los asentamientos irregulares. Esta ciudad continúa expandiéndose sobre la base de la irregularidad, dado que el proceso que ha imperado ha sido el de primero habitar áreas y luego el de regularizarlas por medio de mecanismos e instituciones quienes legalizan lo ilegal y regularizan lo irregular.

Producción agropecuaria y forestal: Las delegaciones rurales con actividades productivas importantes en la región de montaña del sur de la Cuenca de México son Cuajimalpa de Morelos, la Magdalena Contreras, Milpa Alta, Álvaro Obregón y Tlalpan, las cuales cubren en total una superficie de labor de 54,446 has. De las anteriores, 10,584 se emplean en actividades agrícolas; 8,132 se ocupan para pastos naturales o agostaderos; 32,891 para bosques y 2,839 son para otros usos. Destacan Tlalpan y Milpa Alta, porque representan el 84 por ciento de la superficie de labor del DF (Velázquez y Romero, 1999).

Con relación a la producción agropecuaria y forestal, en el SC se realizan las actividades de agricultura y ganadería del DF. Aunque existe una veda forestal¹⁹, persiste una intensa explotación forestal, principalmente de tipo clandestina y sin la implementación de programas de aprovechamiento. Esto se debe porque la madera es un componente fundamental en las construcciones rurales como las tradicionales cabañas. Por otra parte, su comercialización es una práctica muy antigua que sigue en pie. De hecho, hasta la década de los ochenta, el oyamel era la especie más utilizada por su aparente suavidad. Antiguamente para aprovechar los árboles, se requerían de herramientas tales como el hacha y la sierra voladora, pero en los últimos años *“la apertura de caminos y el uso generalizado de motosierras ha permitido el aprovechamiento de otras especies, lo que ha motivado una mayor presión para las zonas boscosas”* (Ibíd., 271).

¹⁹ La compleja problemática de los bosques del SC se debe en parte a la veda forestal establecida en 1947. Esta veda limita el derecho a realizar un aprovechamiento legal y planeado de los recursos forestales, provocando, a su vez, el deterioro creciente de los bosques. Los propietarios de los terrenos sólo pueden obtener ingresos legalmente por la extracción de tierra y otros productos no maderables, así como aprovechar los árboles retirados en limpiezas y saneamientos o actividades ecoturísticas (Sheinbaum, 2011:22).

Las actividades silvícolas legales que se realizan son de saneamiento. Para el año 2003 las actividades agropecuarias representaban 0.09 por ciento del PIB del DF. Para el año 2008 representaron sólo el 0.07 por ciento, el cual ha ido reduciéndose paulatinamente en crecimiento absoluto y participación (INEGI, 2010).

En el caso de la Población Económicamente Activa, en 2004 la PEA ocupada en actividades primarias era de 20,600 personas, lo que representaba sólo el 0.6 por ciento del total de la PEA ocupada por actividad económica en el DF. Para el tercer trimestre del 2012, la PEA ocupada en actividades agropecuarias era de 15,516 personas, lo que representa 0.2 por ciento de participación (INEGI, 2010; STPS, 2012).

A pesar de los anteriores antecedentes, las delegaciones con SC siguen caracterizándose por la presencia de actividades rurales relacionadas con actividades agrícolas, pecuarias, forestales, etc., y con formas de poblamiento tradicional como los *“pueblos, que en los últimos años han mostrado una dinamización económica derivada de sus actividades artesanales, productivas y festivas como en Xochimilco con la producción en invernaderos de flores, en Milpa Alta con el nopal y el mole, y en Mixquic con las fiestas de muertos en noviembre”* (Cruz, 2011:79).

En este sentido, el producto de la actividad agropecuaria continúa representando solo una pequeña parte de los ingresos de las familias *“ya que la cercanía con la ciudad y el incremento en la instrucción educativa ha llevado a los hijos y nietos de ejidatarios y comuneros a ocuparse en otras actividades del sector secundario y, sobre todo, del terciario”* (Sheinbaum, 2011:18).

2.2.4. Normatividad y protección ambiental en el Suelo de Conservación

Marco Jurídico Ambiental: El marco jurídico que rige la gestión de los recursos forestales en México parte de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que establece en el artículo 27 la naturaleza jurídica de la propiedad y concede facultades al gobierno federal para regular los usos de la tierra, a fin de alentar el desarrollo y proteger y restaurar el equilibrio ecológico. Es así como dicho artículo es la base de todas las leyes relacionadas con los recursos naturales y la propiedad, pues

también hace alusión a la naturaleza de la propiedad social de los ejidos y establece límites de tamaño de los latifundios, aspectos que en 1992 fueron modificados junto con las leyes reglamentarias para que tierras ejidales adquirieran la característica de propiedad privada (Perevochtchikova, 2011:189).

El marco jurídico comprende diversos instrumentos legales como la Ley Forestal y su reglamento. La primera Ley Forestal en el país se presentó en 1926, tratando los puntos de regularización de la extracción de madera y restringiendo el uso campesino del bosque. No obstante, el ordenamiento legal básico que se aplica es la Ley Ambiental del DF publicada en la Gaceta Oficial del 13 de enero del 2000. Esta ley establece como supletorias las disposiciones de la LGEEPA, Ley de Aguas Nacionales, Ley Forestal, Ley de Sanidad Forestal, Ley de Planeación del DF, Ley de Desarrollo Urbano del DF, Código Civil, Código Penal, Ley de Participación Ciudadana, entre otras.

Ahora bien y en base a Ruiz (2011), el artículo 33 de la Ley de Planeación del Desarrollo del DF, dispone que los programas sectoriales son documentos que se desagregan en objetivos y metas de mediano plazo, que su vigencia será de seis años y su revisión y, en su caso su modificación o su actualización, deberá realizarse por lo menos cada tres años. Otro referente importante es la Ley Orgánica de la Administración Pública del DF, resaltando el artículo 26 que determina las atribuciones de la SMA. En este caso, la Ley Ambiental del DF es el principal elemento regulatorio y normativo en el terreno ambiental. El artículo sexto de dicha ley establece lo siguiente:

Son autoridades en materia ambiental I) el jefe de Gobierno; II) el titular de la SMA; III) los jefes Delegacionales, y IV) la PAOT (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial), lo cual no deja a dudas sobre quién recae la responsabilidad de la materia.

El mismo autor señala que es importante recordar que se realizaron modificaciones a la Ley Ambiental en el periodo 2001-2006, de las cuales se resaltan las que tienen que ver con el SC: inclusión de Áreas de Valor Ambiental (2002), Definición de Servicios Ambientales (2004) y Áreas de Conservación Comunitarias (2006). Asimismo, se realizaron reformas al Código Penal que contempla sanciones privativas de la libertad, sin derecho a fianza para delitos ambientales tales como la ocupación, uso, aprovechamiento o deterioro de un área natural protegida o ecosistema del SC.

Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal: El suelo en el Distrito Federal, según la Ley de Desarrollo Urbano del DF, puede dividirse en dos grandes rubros: Suelo Urbano y Suelo de Conservación (remitirse al apartado 2.1. sobre SC). Ahora bien, en base a la PAOT (2005), los instrumentos que establecen lineamientos de política pública respecto a la dinámica demográfica y de vivienda, así como la correcta gestión del espacio urbano en la ciudad de México y su SC, están contenidos en diversos instrumentos, destacándose el Programa General de Desarrollo del Distrito Federal (PGDDF), el Programa General de Desarrollo Urbano (PGDU) y los Programas Delegacionales y Parciales de Desarrollo Urbano, el Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF) y el Programa de Protección Ambiental del Distrito Federal (PPA), entre otros.

Al respecto, el PGDUDF vigente establece como prioridad revertir el crecimiento expansivo de la ciudad, proponiendo en su lugar un desarrollo intensivo, con el fin de proteger el suelo con alto valor ecológico. De igual manera, la Ley de Desarrollo Urbano del DF establece los programas de desarrollo urbano, es decir, uno General, dieciséis Delegacionales y los Parciales, los cuales en su conjunto constituyen el instrumento rector de la planeación en esta materia. Además, el Programa General del Ordenamiento Ecológico del DF (PGOEDF), como instrumento de la Ley Ambiental del DF, tiene como prioridad ser el programa rector de cualquier programa, proyecto o actividad que se pretenda implementar en el área rural del DF denominado SC.

En este sentido, el Programa de Protección Ambiental del DF establece como objetivo estratégico para el monitoreo del SC, utilizar y fortalecer el PGOEDF, a través de tres lineamientos: desarrollo y aplicación de normas ambientales; desarrollo y operación de sistemas de apoyo a la planeación de políticas ambientales; y establecer medidas de ordenamiento territorial.

Es importante hacer hincapié en que los persistentes procesos de regularización de los asentamientos irregulares, a través de la inclusión de éstos en los programas delegacionales de desarrollo urbano, lo único que generan son alicientes perversos que estimulan la reproducción y posterior regularización de estos asentamientos. Esto lo corroboran investigaciones del Instituto Nacional de Ecología, al señalar que el aumento

en la aparición de asentamientos irregulares en suelo de conservación, así como la regularización de los mismos, se encuentra fuertemente ligada a los procesos electorales locales, agudizándose en mayor medida en épocas de elecciones (Castelán y Mejía, 2011:25).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito de responder a los objetivos de este trabajo de investigación, se recopiló, procesó y analizó información proveniente de los Censos de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de los años 1990, 2000 y 2010, con el fin de resaltar aspectos socio-demográficos y socio-económicos del Suelo de Conservación del Distrito Federal (SCDF).

De igual manera, se obtuvieron imágenes de satélite y cartografía digital de la zona de estudio.

El presente capítulo exhibe los métodos y técnicas que se aplicaron a la información colectada. Conjuntamente se describen los procedimientos utilizados para la realización del trabajo de investigación.

3.1. Métodos cualitativos y métodos cuantitativos de esta investigación

3.1.1. Métodos cualitativos

En esta etapa fue necesario buscar información que permitiera entender y reconstruir el proceso histórico de la expansión urbana en la periferia sur del SCDF. Entre las técnicas metodológicas cualitativas utilizadas destacan las siguientes:

- 🌲 Observación directa en el área de estudio. Fue parte de varias visitas a los diferentes lugares que conforman el área de conservación.
- 🌲 Se realizó investigación bibliográfica para resaltar las definiciones claves y los trabajos previos enmarcados en el contexto de la investigación.
- 🌲 Registros fotográficos de pueblos, colonias, ejidos, áreas naturales protegidas, asentamientos irregulares, etc., ubicadas dentro del área de conservación.

3.1.2. Métodos cuantitativos

En primer lugar, con relación a los métodos de procesamiento y análisis de imágenes satelitales, se describen diversos procedimientos para corregir los errores que ostentan las imágenes.

En segundo lugar, se presentan los métodos y técnicas de percepción remota utilizados para extraer información geoespacial, a partir de la cuantificación de vegetación arbórea, cultivos y barbecho, superficie impermeable, vegetación arbustiva y humedales en el área de estudio.

Estos procedimientos se centran en el uso de métodos y técnicas de análisis de mezclas espectrales para cartografiar diversos tipos de cubiertas que se encuentran en una región en conservación. Por lo tanto, se trata de encontrar en qué proporción cada cubierta forma parte de los distintos píxeles que constituyen las imágenes, con la posibilidad de extraer información geoespacial sobre el grado de mezcla presente en los mismos.

Por último, se realiza un análisis estadístico de datos socio demográficos con información de Censos de Población y Vivienda del INEGI (1990, 2000 y 2010) en el área de estudio para justificar el comportamiento espacial de la población inmigrante entre 1990-2010, los cuales se relacionan con la información geoespacial extraída de las imágenes satelitales.

Para tal fin, se considera un análisis geográfico que va de lo regional a lo local, desagregando información a escala delegacional, para pasar a nivel localidad y terminar con una escala de análisis a nivel AGEB¹ urbana en las delegaciones de la periferia sur del SCDF.

El tratamiento de imágenes satelitales implicó el procesamiento de dos imágenes satelitales *Landsat 5 TM* de 30 m de resolución espacial, que permitió estimar cobertura y cambios de uso de suelo sobre las coberturas antes citadas, identificadas en la periferia sur del SCDF. Para cuantificar esos cambios y usos de suelo se comparan dos

¹ AGEB Urbana: Es un área geográfica que se encuentra dentro de una localidad urbana (incluyendo todas las cabeceras municipales mayores o iguales a 2,500 habitantes), integrada por un conjunto de manzanas edificadas (cuyo número sea menor de 50) y perfectamente delimitada por calles y avenidas, cuyo uso no es forestal ni agropecuario (Rubalcava y Scheingart, 2000:291).

métodos de clasificación de imágenes, máxima verosimilitud y *SMACC*, que contribuyen de forma directa en la cuantificación de las coberturas bajo análisis.

3.2. Materiales

Se procesaron dos imágenes satelitales en la presente investigación, las cuales fueron proporcionadas por la USGS² y localizadas en el *path* 26 y *row* 47³. Se obtuvieron las imágenes para los años 1990 y 2010 del satélite *Landsat 5 TM*. Las imágenes cumplieron con ciertas condiciones: libres de nubes o con un pequeño porcentaje de cobertura de nubes y que fueran adquiridas en la temporada de estiaje (enero-marzo), con la finalidad de reducir las posibles influencias de los cambios estacionales en las condiciones de suelo y vegetación (Sriwongsitanon y Taesombat, 2010:228).

Además de las bases de datos de los censos de población del INEGI, fue necesario obtener el conjunto de datos vectoriales en formato *shape*⁴, que representan a las delegaciones políticas del DF, a sus localidades y sus AGEBS urbanas para los años 1990 y 2010, con el fin de representar espacialmente algunos indicadores y facilitar su interpretación.

También fueron no menos valiosas las herramientas del software *ENVI* versión 4.7 de *ITT*⁵, del programa *PCI-Geomatics*⁶, del software *ARCGIS* versión 9.3 de *ESRI*⁷, del

² *The United States Geological Survey*. Es una agencia científica del gobierno de los Estados Unidos. Sus investigadores analizan y estudian el paisaje, sus recursos naturales y los peligros naturales que amenazan al país. Para ello, la organización cuenta con disciplinas, tales como biología, geografía, geología e hidrología, para realizar sus estudios y análisis.

³ El Sistema de Referencia Mundial (*WRS*) es un sistema global de numeración para las imágenes *Landsat*. Este sistema de numeración permite al usuario obtener la ubicación de una imagen satelital obtenida por los satélites *Landsat* de cualquier parte del planeta, simplemente especificando el par ordenado de la escena (imagen) que está definido por el *Path* (órbita aproximada del satélite) y *Row* (centro nominal de la escena o imagen). En este caso, el *Path* es tan solo referencial y aproximado, y el *Row* se refiere a la línea central latitudinal de una escena o imagen <http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/wrs.html>.

⁴ Los archivos *SHAPE* son archivos vectoriales, compuestos por entidades de tipo punto, línea y área. El archivo *SHAPE* se compone, por lo menos, de tres archivos con extensión .SHX .SHP y .DBF en los cuales se almacena información geométrica y alfanumérica (INEGI).

⁵ *ENVI (Environment for Visualizing Images)* pertenece a la empresa *ITT (Visual Information Solution)*, filial de *ITT Corporation*. La compañía ha desarrollado, también, las plataformas *IDL* e *IAS*, las cuales se utilizan en una amplia gama de aplicaciones en ciencias de la tierra, gobierno nacional y local, espacio

software *ERDAS IMAGINE 9.2*⁸ y del software *Matlab* para el tratamiento y extracción de información geoespacial de las imágenes satelitales, así como el uso de la hoja de cálculo de *Microsoft Office Excel*, para el procesamiento de información existente en las bases de datos de los censos de población del INEGI.

3.3. Modelos⁹ y técnicas en el procesamiento de las imágenes satelitales

Esta sección describe varios conjuntos de procedimientos o técnicas que sirven para interpretar las imágenes satelitales.

Primeramente, las imágenes requieren de un tratamiento previo, que consiste en la corrección de la distorsión propia del proceso de adquisición y recepción de la imagen, así como el ajuste al relieve del terreno, conocido como georreferenciación, en donde se ubica el área de estudio con sus coordenadas geográficas. Posteriormente,

aéreo y defensa, explotación de petróleo y gas, biotecnología, entre otras. *ENVI* es una plataforma completa para el procesamiento digital de imágenes. Se lanzó en 1994 como plataforma para procesamiento, análisis de imágenes y recolección de datos desde sensores aerotransportados y satelitales. Actualmente es utilizado en varias aplicaciones de análisis ambiental, detección de objetos, detección de cambios y cobertura de desastres (www.rpsoc.org).

⁶ *PCI Geomatics*, además de desarrollador de Geomática, es un software de escritorio completo e integrado que cuenta con herramientas necesarias para percepción remota, fotogrametría digital, análisis espacial, producción cartográfica, mosaicos y mucho más (<http://www.pcigeomatics.com/>).

⁷ Jack y Laura Dangermond fundaron *ESRI* en 1969. Su misión fue organizar y analizar información geográfica para ayudar a los planificadores y administradores de los recursos terrestres a estar bien informados y tomar buenas decisiones. Actualmente es una empresa emprendedora que realiza un trabajo importante, cuya tecnología permite a gobiernos, líderes industriales, académicos y ONG's, crear soluciones responsables y sostenibles de cara a los problemas futuros a escala local y global (www.esri.com).

⁸ En 2010, la compañía central de *ERDAS*, *Hexagon*, adquirió *Intergraph*. Ambas compañías fueron pioneras en el negocio del software geoespacial, con *Intergraph* creada en 1969 y *ERDAS* en 1978. *ERDAS* abrió camino con el procesamiento de imágenes y manipulación de información raster (capacidad de maximizar el píxel). *Intergraph* construyó una estrategia en base a vectores para construir bases terrestres y bases de datos de inteligencia geoespacial (<http://geospatial.intergraph.com/>).

⁹ Un modelo es un bosquejo que representa un conjunto real con cierto grado de precisión y en la forma más compleja posible, pero sin pretender aportar una réplica de lo que existe en la realidad. Los modelos son muy útiles para describir, explicar o comprender mejor la realidad, cuando es imposible trabajar directamente en la realidad en sí (<http://www.fao.org/>). Una técnica se define como un conjunto de procedimientos o recursos que se usan en una ciencia o en una actividad determinada (<http://es.thefreedictionary.com/técnica>).

tanto la corrección radiométrica como atmosférica serán necesarias para continuar con su procesamiento.

3.3.1. Apilamiento y recorte de imagen

El primer paso en el procesamiento de las imágenes satelitales consiste en el apilamiento (*stacking*) de seis de las siete bandas que contiene una imagen *Landsat TM* en el programa *ENVI*. Las bandas contempladas en el trabajo fueron las siguientes: Banda 1 (azul), Banda 2 (verde), Banda 3 (roja), que pertenecen al visible y se encuentran entre 0.4 μm y 0.7 μm del espectro electromagnético; Banda 4 (infrarrojo cercano), Banda 5 y 7 (infrarrojo medio), que pertenecen a la región espectral infrarroja y se encuentran entre 0.7 μm y 2.4 μm . La banda 6, mejor conocida como térmica (aprox., 10-12 μm), no se consideró debido a que posee un tamaño de pixel más grande que el resto de las bandas. Como siguiente paso, fue necesario realizar un recorte (*Resize Data*) a las bandas de las imágenes con el polígono del área bajo estudio.

3.3.2. Corrección geométrica

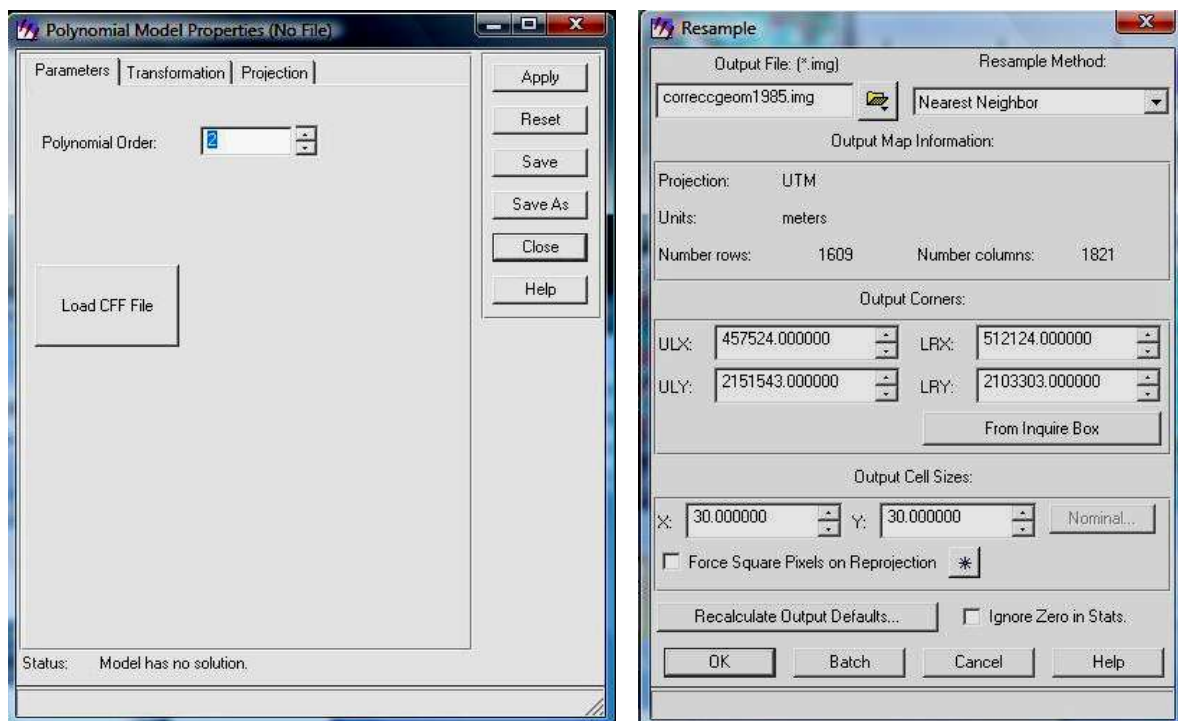
El proceso de corrección geométrica de imágenes pretende eliminar distorsiones introducidas por una diversidad de factores que varían para cada adquisición de imágenes, con el fin de asegurar que los píxeles individuales de la imagen sean colocados en sus correspondientes localizaciones del mapa planimétrico o imagen georreferenciada a usarse (Sriwongsitanon *et al.*, 2011).

En la investigación presente se referenció una imagen de las dos disponibles. La imagen se referenció a la Proyección Universal Transversa de Mercator (*UTM*), zona 14, usando el Sistema Geodésico Mundial 1984 (*WGS 84*). La imagen a referenciarse correspondió a la del 18 de marzo de 1990. La imagen restante (5 de febrero de 2010) ya contaba con corrección geométrica y datos de referenciación.

Fue necesario el uso de seis cartas topográficas escala 1:50,000 de INEGI para corroborar la ubicación y la región donde la imagen correspondiera. Las cartas fueron E14A38, E14A48, E14A39, E14A49, E14B31 y E14B41.

Posteriormente, se aplicó la rectificación a la imagen de 1990. Se utilizaron 40 puntos de control¹⁰ bien distribuidos dentro del proceso de referenciación. Se usó el esquema de remuestreo del vecino más cercano (*nearest-neighbour*) porque preservó los valores de brillantez originales de la imagen (Sriwongsitanon *et al.*, 2011:229). Además, este método modificó muy poco los valores de los Niveles Digitales (*DN*) de la imagen original, al asignar en cada píxel de la imagen corregida el valor digital del píxel más cercano, aunque se puedan encontrar algunas distorsiones en algunos bordes (figuras 3.1).

Figuras 3.1. Imágenes de parámetros de la corrección geométrica, uso de una transformación polinomial de 2do orden y esquema de remuestreo del vecino más próximo con el software *ERDAS 9.2*.



¹⁰ La calidad y cantidad de puntos de apoyo utilizados están directamente relacionadas con el grado de precisión que será posible alcanzar en la transformación de una imagen; es importante que estos puntos estén uniformemente distribuidos. La bondad del grado de ajuste entre el sistema de coordenadas de la imagen y el de la realidad, se mide por la magnitud de los residuales. El indicador más utilizado es el Error Medio Cuadrático (*RMS*), evalúa cada uno de los puntos de control. Este indicador expresa una distancia en el sistema de unidades origen, esto es, una distancia en número de píxeles (Álvarez, 2010).

3.3.3. Corrección atmosférica

Después del proceso de corrección geométrica, las dos imágenes satelitales se sometieron al proceso de corrección atmosférica.

En el caso particular de las imágenes satelitales originales, la corrección atmosférica se llevó a cabo con el programa *PCI Geomatics*, en su módulo *PCI Modeler*¹¹ y el modelo *ATCOR3*¹². El modelo *ATCOR3* permite la corrección topográfica tridimensional; incluye el uso de un Modelo Digital de Elevación (*DEM*)¹³ e imágenes debidamente orto-rectificadas y geo-referenciadas previamente para su uso (figura 3.2). La razón de esto se debe a que el *ATCOR* calcula la corrección topográfica dependiendo del ajuste preciso entre el MDE requerido y el conjunto de imágenes (Neubert y Meinel, 2005:2).

Con respecto al MDE, se trabajó el de la ciudad de México, *path 26* y *row 47*, generada con métodos interferométricos (*inSAR*) trabajados por la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* y el *United States Geological Survey (USGS)* a partir de datos Radar *SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission)* a 90 metros de resolución espacial¹⁴. El *DEM-SRTM* se descargó desde el portal de la *Global Land Cover Facility*¹⁵.

¹¹ El *Modeler* es un eficiente y robusto entorno automatizado de secuencias de comandos de flujo de trabajo para el desarrollo de datos simples y complejos de procesamiento de flujos (<http://www.pcigeomatics.com/>).

¹² Los algoritmos utilizados para eliminar la bruma y corregir la topografía en *ATCOR* fueron desarrollados originalmente por el Doctor Rudolf Richter (Centro Aeroespacial Alemán. Richter, 1996, 1997, 2005). La compañía *Geosystems* adoptó los algoritmos para un módulo de adición del *ERDAS IMAGINE*, pero el software está disponible para *PCI-Geomatics* y también como software independiente en base a un Lenguaje de Datos Interactivos (*IDL-Interactive Data Language*). El *ATCOR* permite la corrección de imágenes de sensores remotos ópticos entre los rangos espectrales 0.4 y 2.5 μm . El modelo puede usarse tanto para imágenes *Landsat* como *SPOT*, *IRS*, *ASTER*, *IKONOS* y *QuickBird*. El software usa una base de datos con soporte de código *MODTRAN* para transferencia radiativa de números digitales calculados a radiancia en el sensor (Neubert y Meinel, 2005:2).

¹³ Un MDE o *DEM*, por sus siglas en inglés, es una representación de la superficie terrestre y como tal provee la base para la extracción digital de parámetros topográficos. Estos MDE son una importante fuente de datos para diversas aplicaciones en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Presutti, 2002).

¹⁴ La *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* fue un proyecto conjunto entre la *National Imagery and Mapping Agency (NIMA)*, la *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* y las Agencias Espaciales de Alemania (*DLR*) e Italia (*ASI*). La misión se desarrolló del 11 al 22 de Febrero del 2000, y el objetivo fue generar datos digitales topográficos para el 80% de la superficie de la tierra (el área cubierta fue entre 60° Norte y 56° Sur) (Presutti, 2009:2944).

El procedimiento de corrección atmosférica y del terreno es estructurado en pasos secuenciales los cuales se muestran en el siguiente esquema de la figura 3.3. El procesamiento es descrito por medio del procedimiento del *ATCOR3*.

Figura 3.2. Imagen de aplicación del *ATCOR3* en el módulo *PCI Modeler*

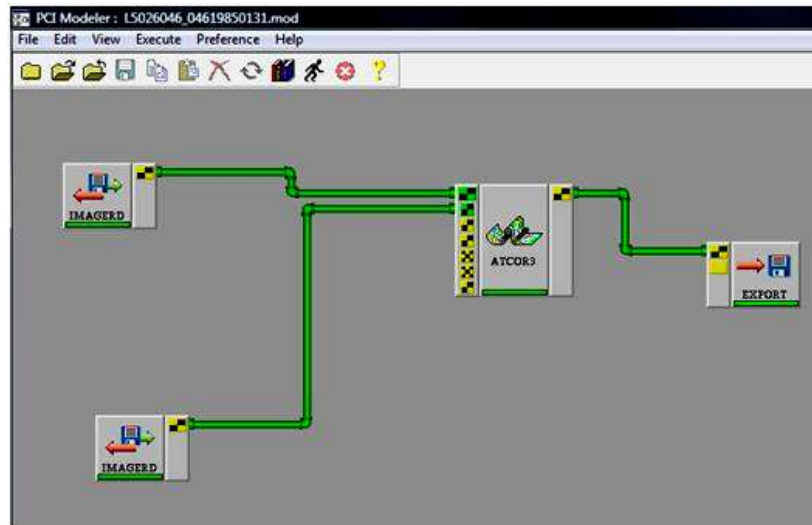
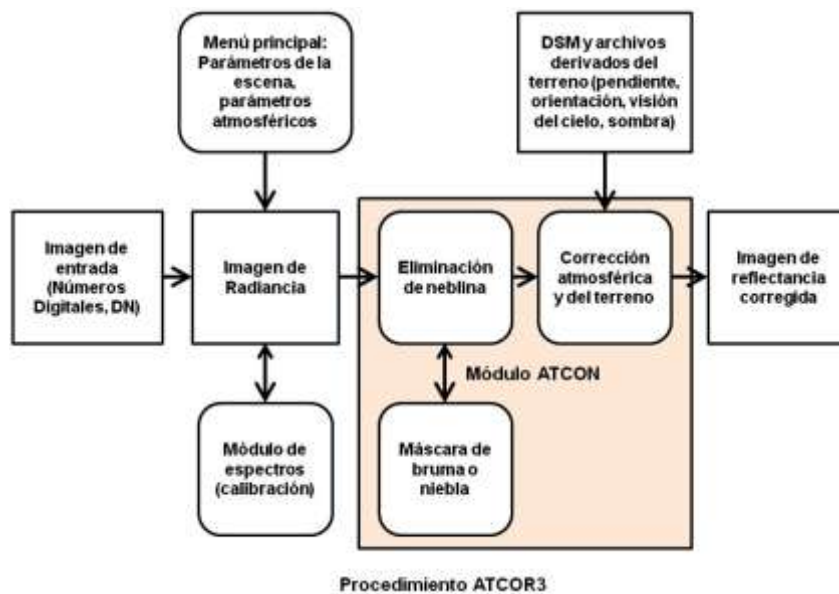


Figura 3.3. Diagrama de procedimiento *ATCOR3* basado en Neubert y Meinel (2005)



¹⁵ *The Global Land Cover Facility (GLCF)* proporciona datos de ciencias de la tierra y productos que ayudan a comprender mejor los sistemas medioambientales a nivel mundial. En particular, el *GLCF* desarrolla y distribuye datos satelitales de percepción remota y productos que expliquen la cobertura del suelo de lo local a lo global (<http://glcf.umiacs.umd.edu>).

Antes del procesamiento de algunos de los archivos de terreno, los mismos deben de ser generados a partir del MDE. Los archivos calculados de pendiente, orientación y sombra deben usarse posteriormente durante el proceso de corrección topográfica.

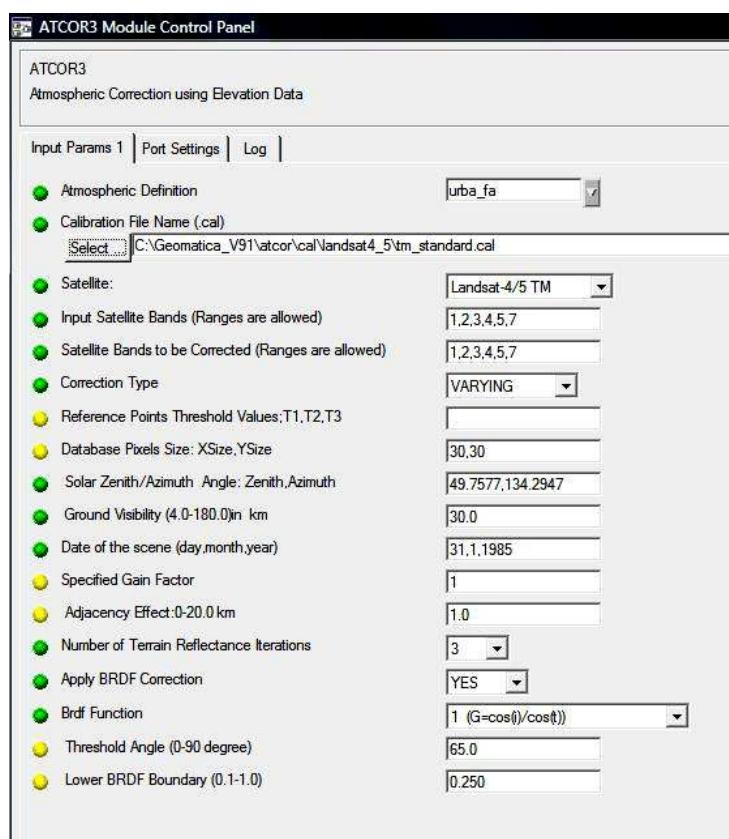
El primer paso en la corrección atmosférica con *ATCOR3* es el establecimiento de algunos parámetros de la escena, como son la fecha de adquisición, el nombre del sensor satelital, la definición atmosférica, la visibilidad de la escena, el cenit solar y el ángulo de azimut. Los dos últimos parámetros se pueden calcular a partir de la fecha de adquisición y tiempo (disponible en el archivo de cabecera de la imagen satelital - *header file*), así como las coordenadas geográficas del centro de la escena, utilizando la herramienta de cálculo de posición solar que se proporciona. Un diálogo de consulta asegura el ingreso de todos los parámetros relevantes y los datos (figura 3.4). En cuanto al tipo de atmósfera, se contemplaron parámetros urbanos en la estación otoñal por encontrarse la imagen en una zona mayoritariamente urbana. Esto corresponde al modelo de región solar para latitudes medias en temporada de otoño con un tipo de aerosoles urbano. La visibilidad de la escena se fijó a 30 km con base en información meteorológica en el momento de la grabación de imágenes.

En esta investigación, el azimut del sol utilizado fue de 134.29° y el cenit de elevación fue de 49.75°. Como archivo de calibración para la imagen, se requirió el uso del archivo de calibración estándar del *Landsat 4_5* para *ATCOR*. Este archivo contiene los coeficientes de calibración de Sesgo [*c0*] y Ganancia [*c1*] (*bias* y *gain*) para cada banda, puesto que cada longitud de onda tiene su propia ganancia (*gain*) y sus factores de sesgo (*bias*), que se proporcionan con los números digitales (*DN*) y aparecen en el encabezado de cada imagen o en archivos complementarios (Cerdeira *et al.*, 2008:217)¹⁶. El sesgo describe la absorción de radiancia espectral en el sensor para un número digital cero. La ganancia o tendencia representa el gradiente de calibración. La unidad de medida para los dos coeficientes de radiación electromagnética es en miliwatts-centímetro-cuadrado-estereorradianes-micrómetro [$\text{mW cm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$]. A través de estos factores *ATCOR* calcula la radiación en el sensor (Geosystems, 2004b).

¹⁶ El *gain* representa los gradientes de calibración. El *bias* define la radiancia espectral del sensor para un valor digital igual a cero. Luego, los valores de radiancia son convertidos a reflectancia aparente, que es el cociente entre la radiancia ascendente y la irradiación solar en el tope de la atmósfera teniendo en cuenta la posición angular del sol en el momento que la imagen fue tomada.

Enseguida, la corrección de la nubosidad se inicia apoyándose en el Módulo de Atmósfera Constante (ATCON). Un rápido vistazo previo de la ligera bruma en una imagen muestra el resultado esperado antes de que la operación de la corrección de nubes se realice y considerablemente ahorra tiempo cuando se está evaluando la viabilidad de realizar realmente una corrección de la nubosidad y en los cuales los parámetros deberían utilizarse. Diferentes opciones de superposición (por ejemplo, la máscara de niebla) ayudan a evaluar los resultados. Todas las etapas de procesamiento y resultados se almacenan en un archivo de informe.

Figura 3.4. Imagen del diálogo de especificaciones, parámetros y datos del ATCOR3



Posteriormente, el proceso de corrección de consumo del rendimiento se inicia y termina con el resultado atmosférico y topográfico mejorado. El tiempo de procesamiento por cada imagen corregida fue de aproximadamente dos horas para las escenas totales *Landsat* multiespectrales (utilizando una máquina con AMD Turion X2 64, 2.1 GHz con 4 GB de memoria).

Por último, en el mismo ambiente del *Modeller*, la utilización de datos de elevación para corregir y complementar las correcciones atmosféricas fue de suma importancia. Se requirió para tal tarea los insumos de un modelo digital de elevación (MDE) y un archivo de calibración para imágenes *Landsat 4_5 TM*, los cuales ya se especificaron anteriormente.

3.3.4. Clasificación supervisada con el método de Máxima Verosimilitud

En la presente investigación se utilizó una clasificación supervisada para cuantificar vegetación arbórea, cultivos y barbecho, superficie impermeable, vegetación arbustiva y humedales a nivel píxel. Este tipo de clasificación digital de imágenes es un proceso por el cual los píxeles que tienen características espectrales similares se identifican y se asignan a una misma clase (Gibson y Power, 2000).

El clasificador de máxima verosimilitud es el más extendido y se utiliza debido a su efectividad y a la robustez estadística que posee (Strahler, 1980). Es un algoritmo paramétrico que asume alguna distribución estadística particular para las clases consideradas. El clasificador de máxima verosimilitud es uno de los más empleados en la clasificación supervisada y utiliza un modelo probabilístico, comúnmente la distribución gaussiana para formular sus reglas de decisión en la categorización de los píxeles.

De esta manera, como paso previo para la aplicación del método de clasificación de máxima verosimilitud a las imágenes, se calculan las firmas espectrales a partir de regiones de interés o *ROIs*. Cada firma corresponde al vector de medias en el método de máxima verosimilitud. El catálogo espectral creado correspondió a vegetación arbórea, cultivos y barbecho, superficie impermeable, vegetación herbácea y humedales (figura 3.5).

También se crearon regiones de interés o *ROIs* como antesala en la aplicación de la clasificación supervisada. Las *ROIs* se definieron de acuerdo a las clases previstas de interés sobre la imagen satelital. Una vez definidas las *ROIs* que se crearon, se salvaron

en un archivo y con ellas se llevó a cabo una clasificación supervisada por el método de máxima verosimilitud (figura 3.6).

Figura 3.5. Imagen de perfiles espectrales para la obtención de muestras previas a la clasificación

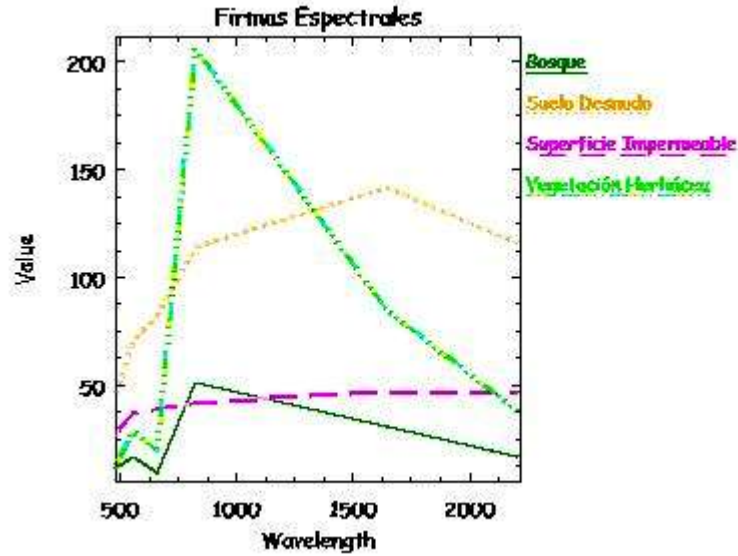
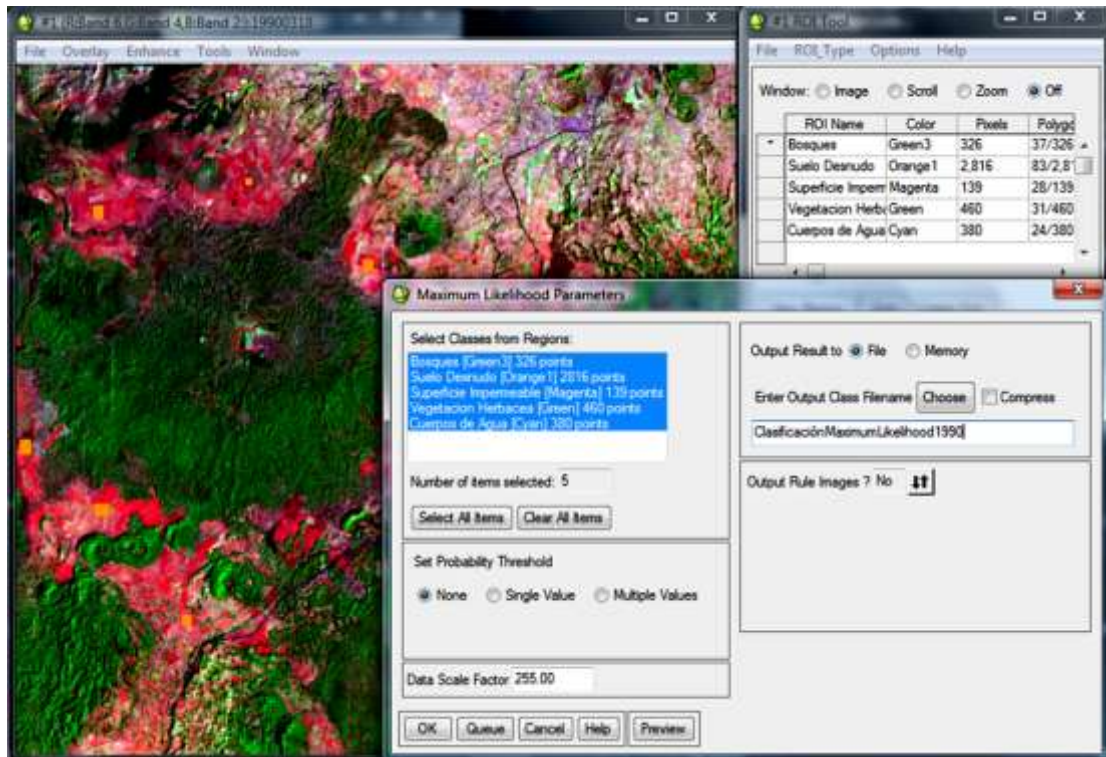


Figura 3.6. Imágenes de selección de parámetros para ejecutar la clasificación supervisada sobre la imagen de 1990



Después de seleccionar el método, se obtienen estadísticas y la imagen clasificada. Posteriormente, se determinó la exactitud de las clasificaciones o el error cometido en términos de número de píxeles incorrectamente clasificados con la ayuda de las denominadas áreas de control o puntos de control.

Para la imagen de 1990, los puntos de control se diseñaron aleatoriamente a partir de foto-interpretación de diez ortofotos digitales a escala 1:20,000 del INEGI de 1994 de áreas que se conocían previamente en las delegaciones con SC. Las ortofotos fueron E14A39D, E14A39E, E14A39F, E14B31D, E14A49A, E14A49B, E14A49C, E14B41A, E14A49E y E14A49F. Se diseñaron doscientos cuarenta puntos de control aleatorios en formato *shape*. Se asignaron a los puntos de control el nombre correspondiente a la clase que pertenecían en las ortofotos con el fin de evaluar la exactitud de la clasificación de la imagen 1990 en *ENVI*.

En la imagen del 2010, los puntos de control se diseñaron aleatoriamente a partir de foto-interpretación de imágenes del 2010 de *Google Earth*. También se diseñaron doscientos cuarenta puntos de control aleatorios en formato *kml*, mismos que se les asignaron los nombres correspondientes a las cinco clases en análisis. Posteriormente se cambiaron a formato *shape* para evaluar la exactitud de la clasificación de la imagen 2010 en *ENVI*.

Enseguida, para evaluar la exactitud de las clasificaciones con la exactitud de la foto-interpretación, se obtuvieron las matrices de confusión de cada imagen, en las que las filas representan los datos clasificados y las columnas los datos de referencia. Mientras mayores sean los valores contenidos en la diagonal principal con respecto a los valores del resto de la matriz, más fiable será la clasificación realizada. Los resultados se expresan en porcentajes de acierto para cada clase¹⁷.

Una vez que las matrices de confusión han sido generadas, se aplicó el análisis *Kappa* a las imágenes. El análisis *Kappa* es una técnica que se usa para evaluar la exactitud y determinar estadísticamente si una matriz de confusión es diferente de otra (Bishop *et al.*, 1975). El resultado de realizar un análisis *Kappa* es un estadístico

¹⁷ Martínez Serrano, Ayetsa. "Percepción Remota, otra forma de ver el mundo a partir de una perspectiva social, para no geógrafos". Materia: Curso de Percepción Remota. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Lunes, 21 de mayo de 2012.

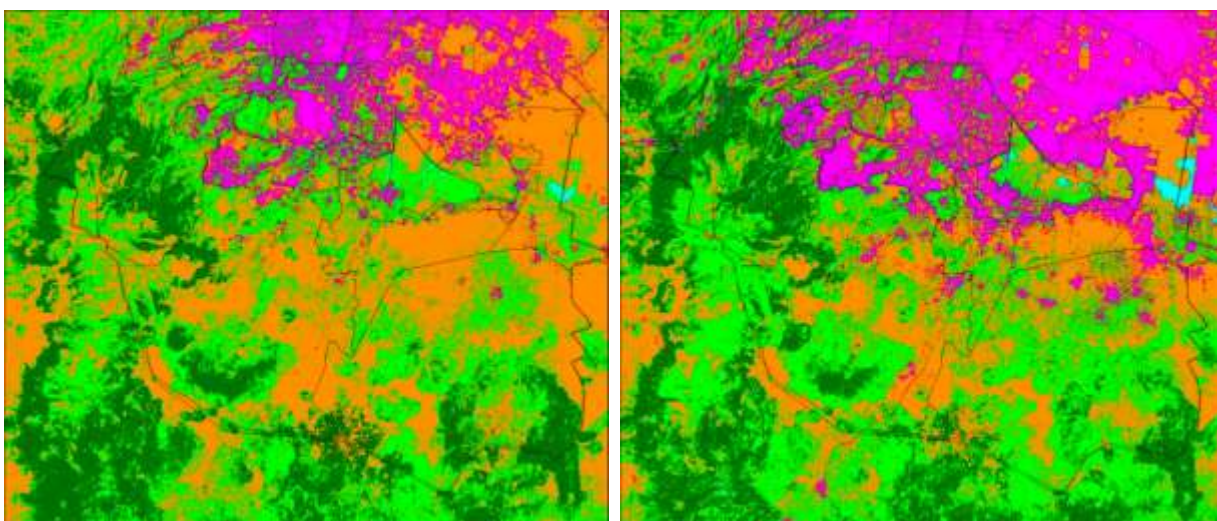
llamado *KHAT* (*K*) que es una estimación de *Kappa*, el cual mide la exactitud (Cohen, 1960).

El valor *K* es calculado en el software *ENVI* para cada matriz de confusión y es una medida de concordancia entre la clasificación de la imagen satelital y los datos de referencia. Existen tres rangos posibles para *K*: un valor mayor a 0.80 (>80%) representa fuerte concordancia; un valor entre 0.40 y 0.80 (40-80%) representa moderada concordancia, y un valor por debajo de 0.40 (<40%) representa pobre concordancia (Congalton y Green, 2009:106).

Posteriormente, se realizó un análisis post-clasificadorio y se generó una matriz de detección de cambio. Así, en este análisis geoespacial post-clasificadorio se compararon los productos temáticos generados previamente de manera individual a fin de generar una matriz de detección de cambio de 1990 y 2010.

Por otra parte, la imagen clasificada requirió un post proceso que evaluara la calidad de la clasificación y otro que generalizara clases. Para ello, en *ENVI* se implementaron los reajustes en las clases con las funciones *Sieve*, que permitió resolver el problema de borrar en la imagen clasificada los píxeles aislados que quedaran después de la clasificación y *Clump*, cuya función fue agrupar en conjuntos las áreas adyacentes similares clasificadas usando operadores morfológicos (figuras 3.7).

Figuras 3.7. Imágenes de aplicación *Clump* sobre las imágenes de 1990 y 2010



3.3.5. Clasificación subpíxel con el método SMACC

El método SMACC que se utiliza en este estudio requiere de un modelo de Cono Convexo (*Convex Cone*), también conocido como Minimización Residual (*Residual Minimization*), para identificar los *endmembers* de la imagen. Los puntos extremos se utilizan para determinar el cono convexo, que define el primer *endmember*. Entonces se aplica una proyección oblicua sobre el cono existente para derivar el siguiente *endmember* y el cono aumenta incluyendo el nuevo *endmember*. El proceso se repite hasta que la proyección deriva un *endmember* que ya existe dentro del cono (en un rango de tolerancia definido), o hasta que se alcanza el número de *endmembers* establecido (De Tomás *et al.*, 2010:84).

Matemáticamente, el método SMACC utiliza la siguiente expansión de cono convexo para cada espectro del píxel (*endmember*), definida como H :

$$H(c,i) = \sum_k^N R(c,k)A(k,j)$$

Donde:

- 🌲 i es el índice del píxel;
- 🌲 j y k son los índices *endmember* de 1 a la expansión de longitud, N ;
- 🌲 la matriz R contiene los espectros *endmember* como columnas;
- 🌲 c es el índice de canal espectral; y
- 🌲 la matriz A que contiene la contribución fraccional (abundancia) de cada *endmember* j en cada *endmember* k para cada píxel.

La representación de la matriz bi-dimensional de una imagen espectral es factorizada en una base convexa bi-dimensional (un lapso o intervalo de un espacio vector) que sincroniza una matriz de coeficientes positivos. En la matriz de la imagen (R), los elementos de la fila representan píxeles individuales y cada columna representa el espectro de ese píxel. Los coeficientes de A son las contribuciones fraccionales o abundancias de los miembros de base de la matriz original. La base forma un cono

convexo multidimensional dentro de su subconjunto. El cono convexo de los datos es el conjunto de todas las combinaciones lineales positivas de los vectores de datos, mientras que el casco convexo es el conjunto de todos los promedios ponderados de los datos. Las matrices de factores se determinan entonces secuencialmente. En cada paso se forma un nuevo cono convexo al añadir el vector seleccionado de la matriz original que se encuentra más alejado del cono definido por la base existente (Gruninger *et al.*, 2004).

Este algoritmo primero encuentra el píxel más brillante de la imagen; después, ubica al píxel que más difiere de éste y seguidamente el píxel que más difiere de los dos primeros. Se repite el proceso hasta que encuentra un píxel perteneciente al grupo de los píxeles analizados previamente, o hasta que se alcanza el número especificado de *endmembers*, que en el caso de esta investigación fueron veinte.

Estos componentes espectrales puros fueron interpretados y asignados a un tipo de cobertura de las cinco clases de interés. Este paso es uno de los más difíciles, ya que implicó destreza y conocimiento tanto del área de estudio como del comportamiento de los materiales que estuvieran presentes en el área. Los componentes espectrales puros de la cobertura se convierten en los *endmembers* y las fracciones de cobertura de cada uno de ellos la abundancia.

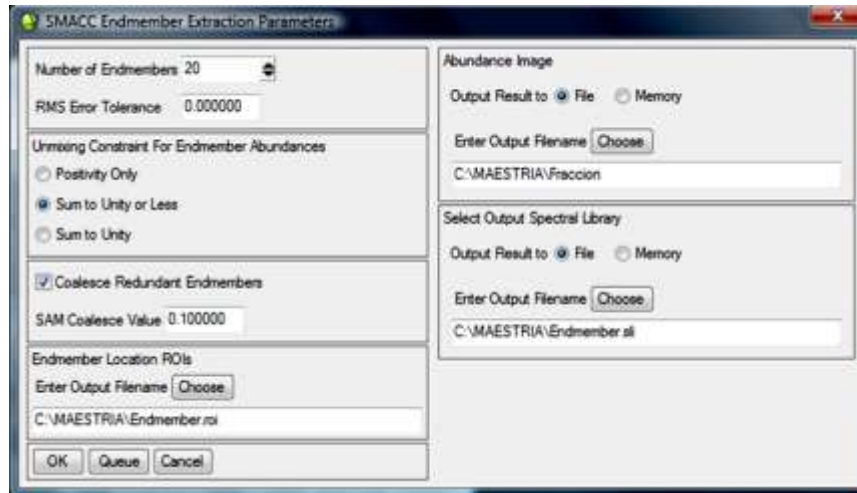
Se seleccionó la técnica *SMACC* porque ofrece buenos resultados para generar *endmembers* que representan mejor las fracciones de coberturas explicitadas en los objetivos de esta investigación, resultantes de la información espectral que existen en las imágenes satelitales utilizadas en este análisis.

En este sentido, es importante recalcar que la técnica *SMACC* aplica cierto tipo de restricciones (*constraints*) sobre los datos, que refuerzan los resultados para mantenerse sobre determinados rangos. En este caso, y debido a las características de la imagen, se aplica uno que fuerza los resultados a ser únicamente positivos (De Tomás *et al.*, 2010:85). La figura 3.8, muestra el diálogo de extracción de parámetros para la generación de *endmembers*.

La investigación presente estableció a veinte el número de *embembers* generados como base de trabajo. A partir de la generación de las imágenes de abundancia, se

procedió a interpretar las fracciones de cobertura, determinando a qué clase pertenecía cada imagen de brillo de acuerdo a su firma espectral y a los valores de los píxeles con mayor cantidad de brillo que permitiera su identificación.

Figura 3.8. Imagen del diálogo de especificaciones, parámetros y datos del SMACC



Una vez determinadas todas y cada una de las clases en estudio, el siguiente paso fue apilar las cinco clases en una sola imagen, es decir, cinco clases para cada imagen. Asimismo, se recortaron las imágenes con el polígono del área de conservación y se incorporaron los límites delegaciones. En total se generaron dos imágenes abundancia con cinco clases cada una para facilitar la interpretación.

Posteriormente, se realizó un análisis post-clasificadorio y se generó una matriz de detección de cambio. Se definieron las clases vegetación arbórea, cultivos y barbecho, superficie impermeable, vegetación arbustiva y humedales. Una vez identificadas las clases en las imágenes fracción, se procedió al análisis geoespacial del cambio de uso de suelo.

Así, en este análisis geoespacial post-clasificadorio se compararon los productos temáticos generados previamente de manera individual a fin de generar una matriz de detección de cambio de 1990 y 2010. Para esta clasificación suave a nivel subpíxel, la matriz de cambio post-clasificatoria *GPROD (generalized product matrix)*¹⁸ fue de suma importancia para hacer frente al problema de la predicción óptima de las fracciones

¹⁸ Silván, J.L y L. Wang, 2013, "On quantifying post-classification subpixel change", *International Journal of Remote Sensing*, en revisión.

existentes en cada uno de los píxeles y que la sumatoria de sus fracciones resultara uno o cien por ciento.

Con la aplicación de la matriz *GPROD* es posible estimar la matriz de cambio a partir de las fracciones de cobertura. *GPROD* aproxima con bastante exactitud los cambios a nivel subpíxel, por lo que generaliza la composición de matrices en base a operadores donde los elementos diagonales son asignados a la matriz **G** (**X**, **Y**), y los elementos que se encuentran fuera de la diagonal son calculados a través del producto normalizado de los residuales. En este sentido, los elementos de la matriz **G** son interpretados como la persistencia de la cobertura de suelo por píxel y por clase entre dos fechas, mientras que los elementos de **X - G** e **Y - G** representan fracciones de pérdida y ganancia a nivel píxel y clase, respectivamente (Silván y Wang, 2013).

Esta interpretación es coherente siempre y cuando las fracciones de persistencia sean delimitadas por el cambio fraccional subpíxel dado por los operadores *MIN* y *LEAST*, es decir, se requiere que $\max(\mathbf{X} + \mathbf{Y} - \mathbf{1}, \mathbf{0}) \leq \mathbf{G} \leq \min(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$. Además, esto tiende al operador *PROD* cuando α tiende a cero, y para el operador *MIN* cuando tiende a infinito (Ibíd.)

La matriz *GPROD* se aplicó a las imágenes abundancia clasificadas manteniendo un valor $\alpha = 0.25$, el cual ofreció el mejor comportamiento del error de porcentaje máximo en los cambios subpíxel estimados. Se utilizó el programa computacional *matlab* para generar la matriz de cambios 1990-2010 entre las cinco clases.

3.4. Combinación de resultados de imágenes fracción y datos censales

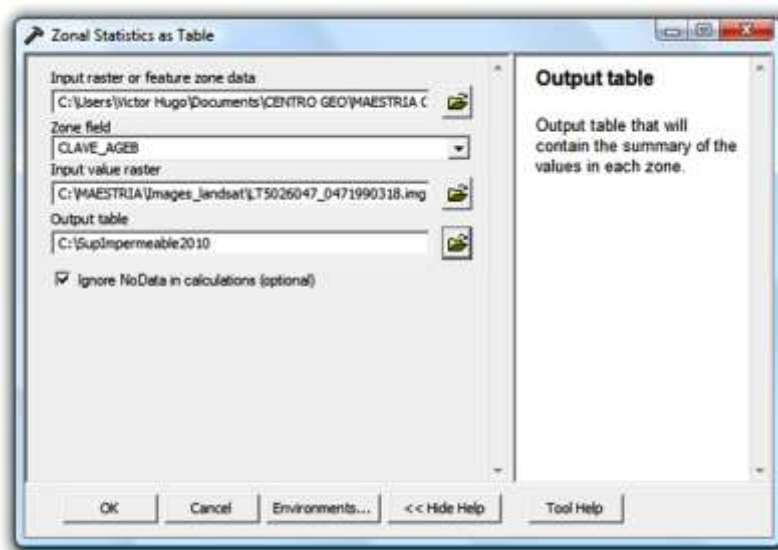
En este trabajo de investigación el análisis entre la información geoespacial derivada de las imágenes fracción y los atributos de los datos censales de la población migrante se abordaron con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que son herramientas que hacen posible la combinación y el análisis de bases de datos ordenados y sistematizados, como los que proporcionan los censos, con información geoespacial derivada de las imágenes satelitales. De este modo fue posible construir

relaciones entre las coberturas de las imágenes fracción y los componentes sociales representados por datos censales.

Una vez procesadas las imágenes satelitales se procedió a realizar un análisis espacial con los resultados de las imágenes y los datos censales. Para ello se usó el *software ArcGIS* y las funciones del *Arc Toolbox*. Dentro de esa caja de herramientas se utilizó *Spatial Analyst Tools*; enseguida se selecciona *Zonal*, *Zonal Statistics as Table*, y posteriormente se eligen tanto la imagen fracción de una cobertura específica resultado del *SMAAC*, por ejemplo, superficie impermeable, como el archivo de datos vectoriales de tipo polígono, que representa las áreas AGEBS urbanas.

Como resultado, se genera un archivo o tabla de datos que se debe interpretar como las estadísticas de la imagen fracción que se transfieren en el archivo de datos vectoriales. Se crean diversas variables tales como su mínimo, su máximo, su rango, su media y la suma de las fracciones que posee cada píxel en la escena. Después, se crea una columna que identifica a la clase o cobertura para determinar su ganancia o pérdida, según sea el caso, en hectáreas. Por último, el archivo de datos resultante se une a los atributos del archivo de datos vectoriales de tipo polígono y se genera la representación espacial correspondiente a la expansión de la superficie impermeable, dentro de cada AGEBS urbana que constituye la región de estudio (figura 3.9).

Figuras 3.9. Imagen de la aplicación *Zonal Statistics as Table* con el *software ArcGIS*



Este análisis se aplicó en la imagen fracción de superficie impermeable, resultante de la diferencia entre 1990 y 2010 por AGEBs urbanas en delegaciones con SC, para estimar los cambios y el comportamiento de la expansión urbana por hectáreas, producidos en el periodo establecido 1990-2010.

“Digamos que uno no tiene por qué amar aquel lugar al que pertenece, sino que uno pertenece a los lugares que ama”.

José Manuel Fajardo

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Cobertura y uso de suelo mediante clasificación supervisada (método duro)

Producto de la aplicación del algoritmo de máxima verosimilitud a las imágenes de satélite, de la clasificación supervisada y de la evaluación de la exactitud de las clasificaciones con la exactitud de los puntos tomados por foto-interpretación para la matriz de confusión, se obtuvieron dos imágenes con las coberturas de suelo para 1990 y 2010 (figura 4.1).

De acuerdo a la figura 4.1, los mayores cambios de uso de suelo y vegetación se observan en las regiones poniente, centro y oriente dentro del límite de la periferia sur del SCDF, principalmente en las regiones donde se encuentran los pueblos rurales de las delegaciones Cuajimalpa, Tlalpan, Xochimilco y Tláhuac, y en donde aún se desarrollan actividades agrícolas, pecuarias y agroforestales.

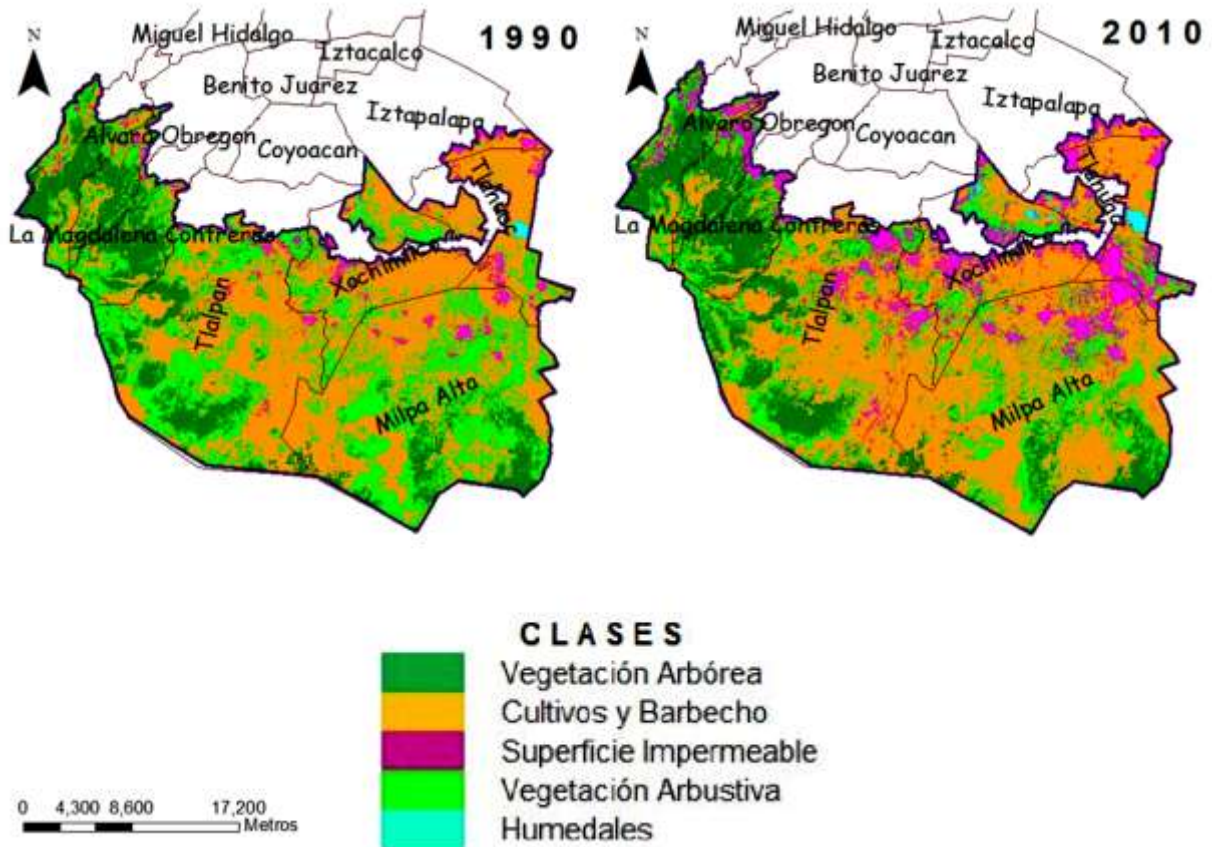
De la misma forma, se obtuvo para la imagen de 1990 un 88% de exactitud total, un 89% de exactitud del productor y 87% de exactitud del usuario y para la imagen del 2010, se obtuvo un 88% de exactitud total, un 86% de exactitud del productor y 86% de exactitud del usuario.

En este tipo de procesos de exactitud, arriba del 70 por ciento de certidumbre se considera como satisfactorio (Howard, 1991). Es necesario aclarar que este procedimiento es una medida que refleja la eficiencia de selección de los campos de entrenamiento utilizados para la realización de la clasificación supervisada (Muñoz y López, 2008).

Para detectar y determinar en qué proporción se llevaron a cabo los cambios de uso de suelo entre las clases asignadas en el SC, se partió de las imágenes de 1990 y

2010 para generar una matriz de cambio, siendo un procedimiento utilizado en estudios de detección de cambios de uso de suelo (Pontius *et al.*, 2004).

Figura 4.1. Mapa de coberturas de suelo 1990 y 2010



La matriz resulta de cruzar las imágenes de las fechas en cuestión (1990 y 2010), representando las filas las clases en el tiempo 1 (T_1), que en este caso fue 1990 y las columnas las clases en el tiempo 2 (T_2), es decir, 2010. De igual forma, es posible observar la estimación de cambios netos e intercambios de superficie, las persistencias y las ganancias o pérdidas totales entre cada una de las coberturas. La tabla 4.1 presenta las cifras en hectáreas tanto de superficie que se transformó como la que permaneció inalterada.

Asimismo, a esta matriz de cambio se le aplicó el estadístico *Khat* (Congalton y Green, 2009) para dar validez estadística. El estadístico *K* mide la concordancia entre los datos de la clasificación y los datos de verificación.

El estadístico *K* obtenido para la imagen de 1990 fue de 0.87 (87%) y para la imagen del 2010 fue de 0.84 (84%), significando una fuerte concordancia entre la clasificación de la imagen y los datos de referencia tomados por fotointerpretación¹.

Tabla 4.1. Principales cambios de cobertura y usos de suelo a nivel píxel en el SCDF (datos en has.)

2010 1990	Vegetación Arbórea	Cultivos y Barbecho	Superficie Impermeable	Vegetación Arbustiva	Humedales	Total 1990	Ganancias o Pérdidas
Vegetación Arbórea	28,477	2,173	254	1,082	727	32,713	14,640
Cultivos y Barbecho	13,863	18,946	2,525	4,894	606	40,834	-17,176
Superficie Impermeable	256	446	409	133	26	1,270	2,466
Vegetación Arbustiva	3,991	1,907	537	2,991	169	9,595	-414
Humedales	766	186	11	81	368	1,412	484
Total 2010	47,353	23,658	3,736	9,181	1,896	85,824	

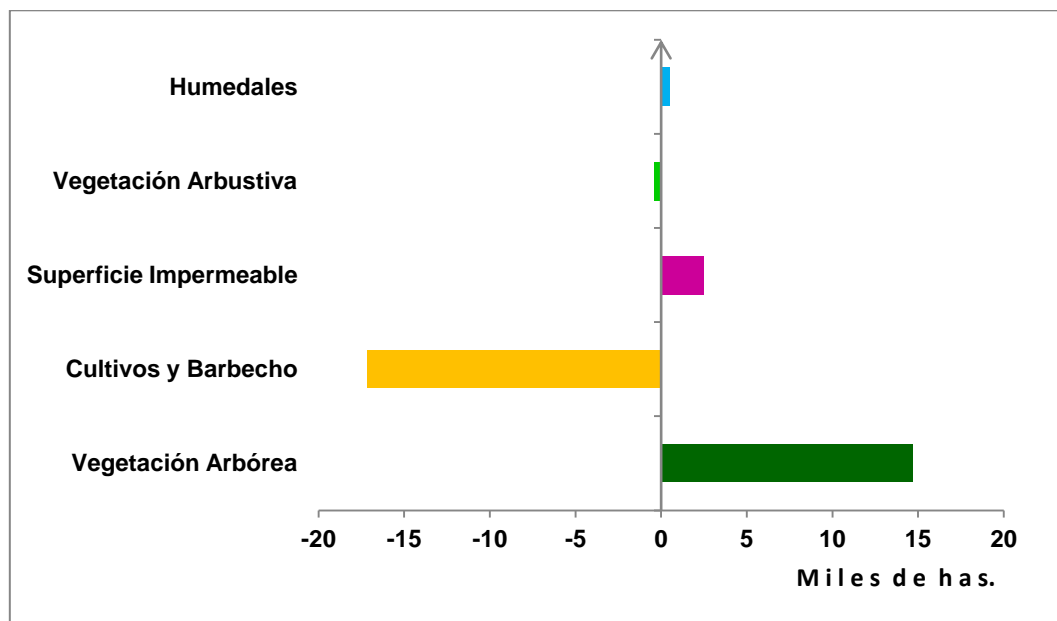
Retomando los resultados de la matriz de cambio, en cuya diagonal se observan los porcentajes de las clases que no presentaron cambios, lo interesante es analizar los datos fuera de la diagonal principal, ya que los valores permiten identificar patrones dominantes y sistemáticos presentes en los análisis de cambios (López y Plata, 2009). Se concluye que de las 85,824 has., 51,191 permanecieron sin cambio, representando el 59.6%, mientras que los datos fuera de la diagonal principal representaron el 40.4% de la superficie total con cambios.

Analizada la tabla de esta forma, se observa que en el área de conservación se lleva a cabo un proceso de urbanización. La superficie impermeable, propia del suelo urbano, pasó de 1,270 has en 1990 a 3,736 en 2010, lo que representa un incremento del 194 por ciento. En seguida, la vegetación arbórea tuvo un aumento que va de 32,713 has en 1990 a 47,353 has en 2010, lo que representa un incremento del 48.8 por ciento. Los humedales tuvieron un aumento que va de 1,412 has en 1990 a 1,896 has en 2010, lo que representa un incremento del 34.3 por ciento.

¹ Existen tres posibles rangos en los que se pueden ubicar los valores resultado de la aplicación del estadístico *KHAT*: valores mayores a 0.80 (>80%) representan fuerte concordancia; valores entre 0.40 y 0.80 (40-80%) representan moderada concordancia; y un valor por debajo de 0.40 (<40%) representará una pobre concordancia (Landis y Koch, 1977).

Eso por una parte, por otra, los cultivos y barbecho tuvieron una disminución que va de 40,834 has en 1990 a 23,658 has en 2010, lo que representa un decremento del 42.1 por ciento. Por último, la clase vegetación arbustiva pasó de 9,595 has en 1990 a 9,181 en 2010, lo que representa un decremento del 4.3 por ciento (figura 4.2).

Figura 4.2. Gráfica de cambios en hectáreas, clasificación dura

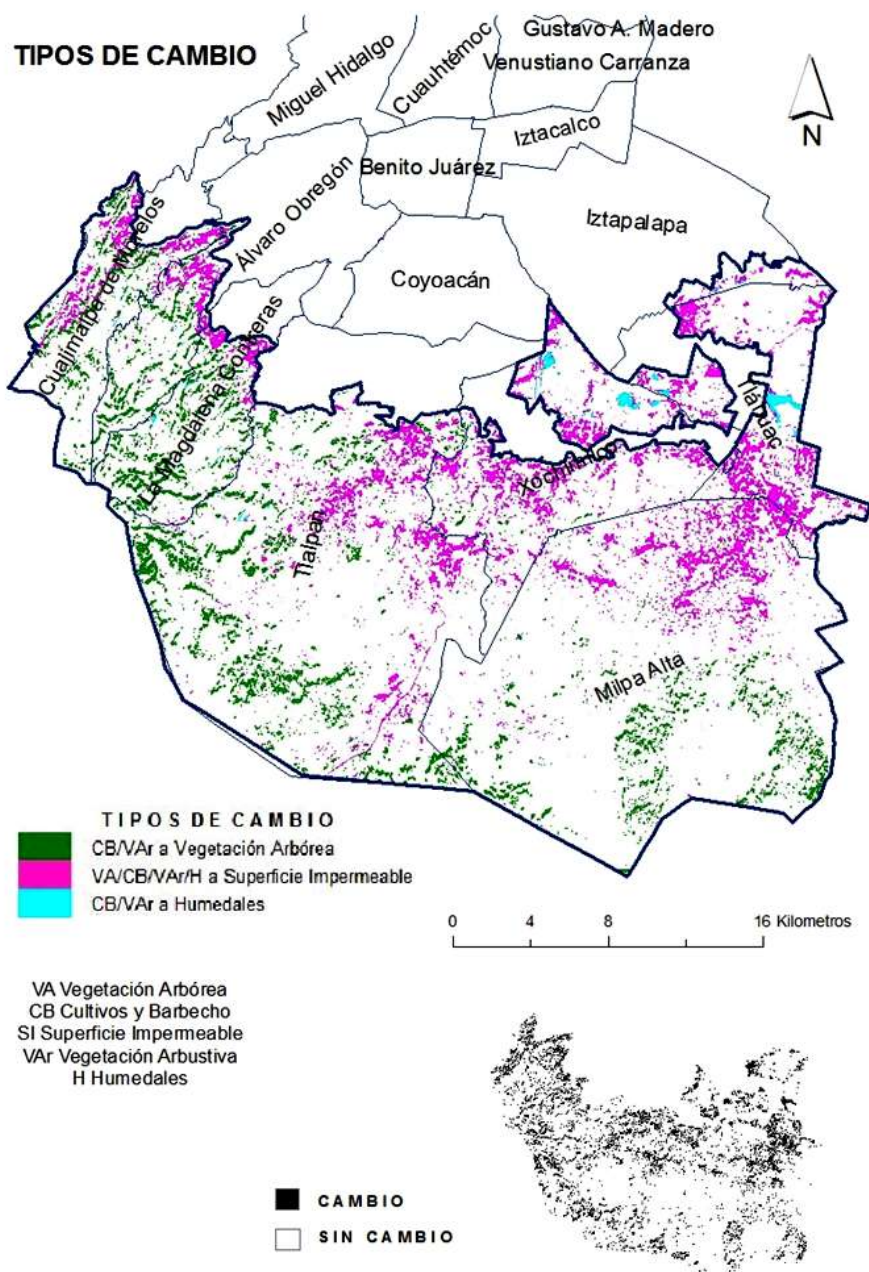


El tipo de cambio con mayor ganancia en superficie fue la superficie impermeable, cuyo aumento se llevó a cabo principalmente en suelos con vocación agrícola, ya que se estimaron 2,525 has que cambiaron de cultivos y suelos en barbecho a superficies impermeables debido al proceso de urbanización que existe en la región. Le siguió la clase vegetación arbórea, cuyo aumento se debió a un incremento en suelos de cultivos agroforestales ya que se estimaron 13,863 has que cambiaron de cultivos y suelos en barbecho a vegetación arbórea. Por último se ubicó la clase humedales, aumentando su superficie principalmente por los intercambios de las clases vegetación arbórea (727 has) y cultivos y barbecho (606 has).

En contrapartida, las clases con mayor pérdida fueron las clases cultivos y barbecho y vegetación arbustiva. Lo anterior se explica porque en el área de conservación la agricultura ha venido perdiendo progresivamente superficie, sobre todo en los alrededores de las áreas urbanas de las delegaciones pertenecientes al SC. Destaca la parte norte de la delegación Tlalpan y los poblados rurales de San Miguel

Topilejo, Santo Tomás y San Miguel Ajusco, “los cuales hasta 1995 conservaban grandes extensiones agrícolas en las cercanías de los poblados. Sin embargo en el año 2005 se observó un incremento de la superficie urbana, la cual se ha venido estableciendo en los terrenos agrícolas” (Rodríguez y López, 2011:265). Así, la urbanización triplicó su superficie a lo largo de estos veinte años. En la figura 4.3 se presentan los principales tipos de cambio que se llevaron entre el período 1990-2010.

Figura 4.3. Mapa de principales tipos de cambio en el Suelo de Conservación entre 1990-2010

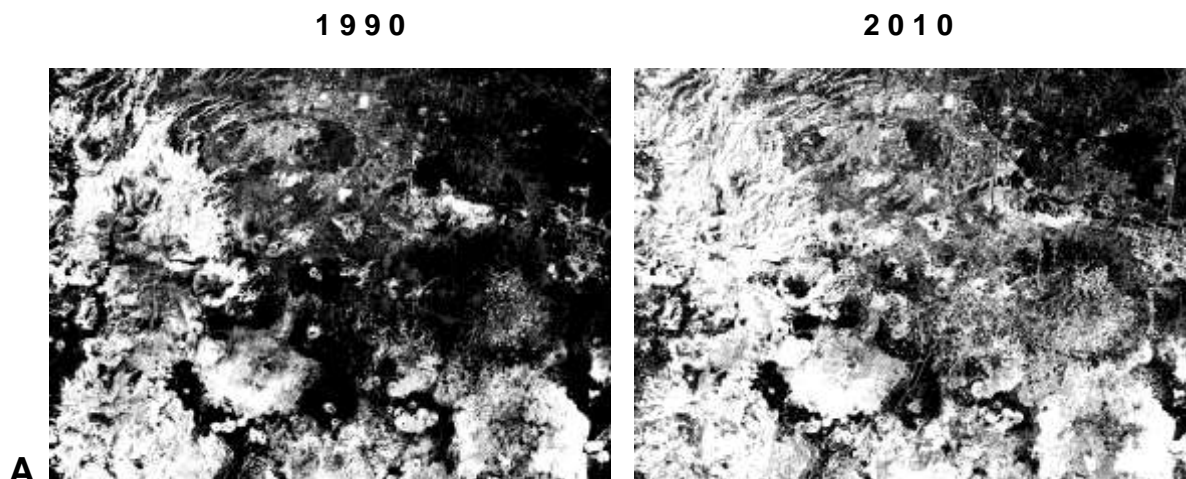


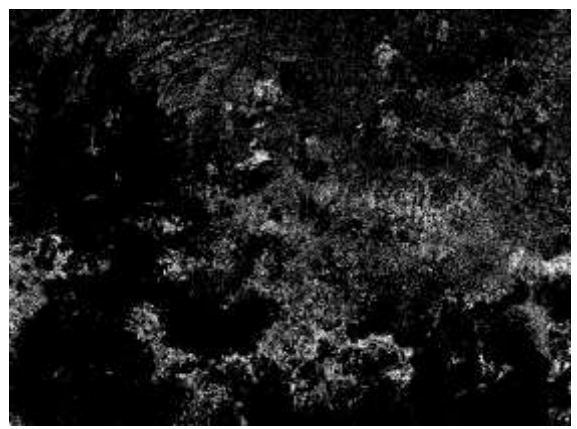
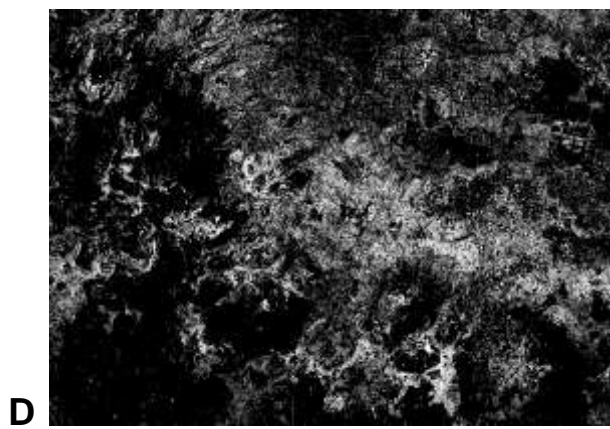
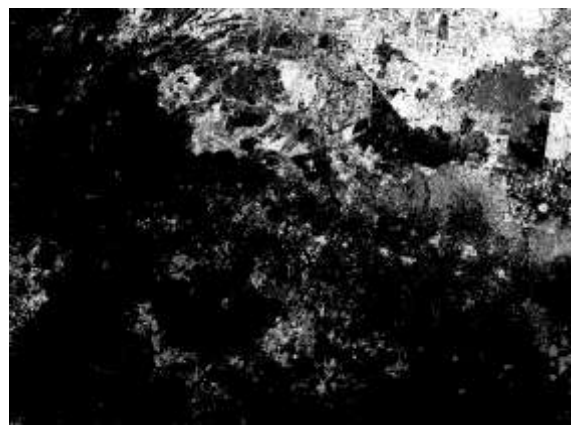
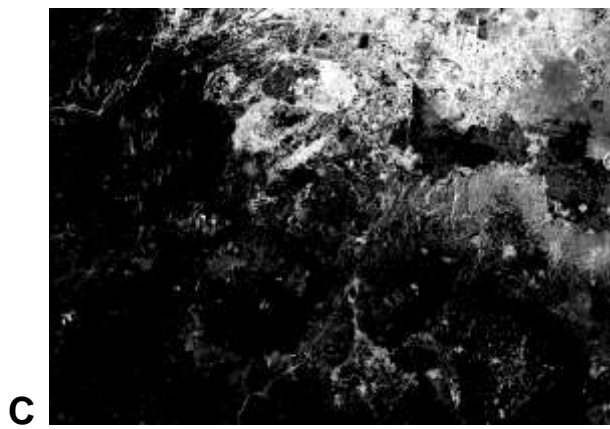
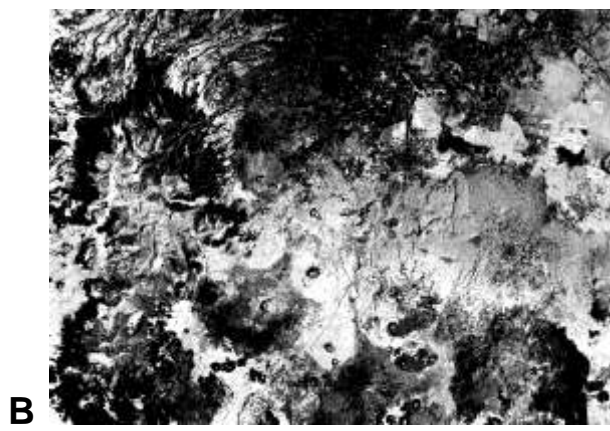
En este sentido, dentro de la clasificación dura, lo significativo a resaltar fue que hubo tres ganadores en superficie: vegetación arbórea, superficie impermeable y humedales, y dos perdedores en superficie: cultivos y barbecho y vegetación arbustiva. Para identificar y explicar estos patrones espaciales, fue necesario conocer tanto los porcentajes de las clases que presentaron cambios, como las clases que se mantuvieron estables, ya que son importantes en el análisis de cambios de uso de suelo y vegetación, puesto que diversos estudios demuestran que lo estable es lo que predomina en la naturaleza, aun en zonas muy dinámicas como las ciudades (Yang, 2002).

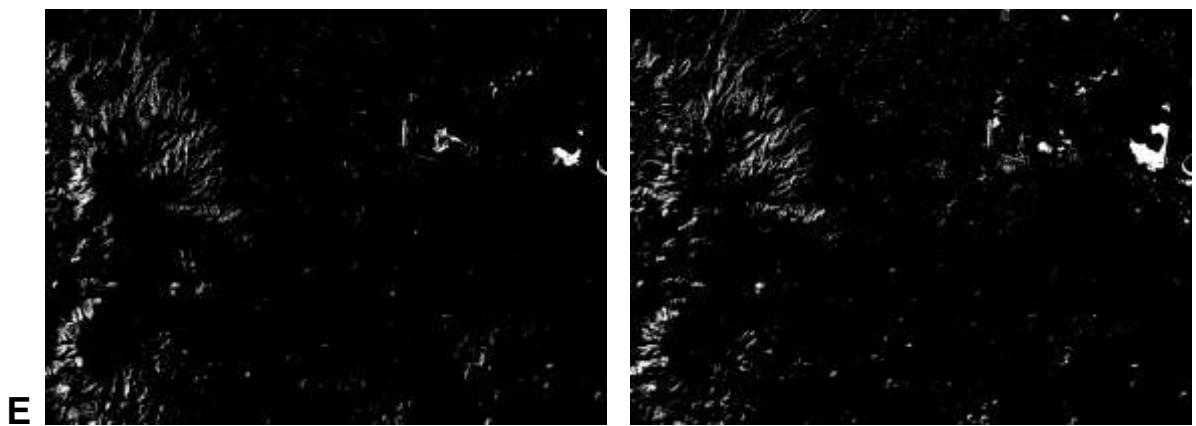
4.2. Cobertura y uso de suelo mediante clasificación subpíxel (método suave)

En el procesamiento de las imágenes, el método *SMACC* extrajo de 15 a 20 componentes espectrales puros (*endmembers*) y fracciones de cobertura dentro del área del píxel asociadas a cada componente. Se interpretaron los *endmembers* y a su vez las fracciones de cobertura fueron identificadas y asignadas a cada una de las clases bajo análisis. Las clases fueron vegetación arbórea, cultivos y barbecho, superficie impermeable, vegetación arbustiva y humedales. Así, tras analizar, interpretar y asignar la distribución espacial de la abundancia de cada componente a las clases, el siguiente paso correspondió a la creación de imágenes abundancia. Se crearon las imágenes abundancia 1990 y 2010 a nivel subpíxel de cada clase (figuras 4.4).

Figuras 4.4. Imágenes abundancia, 1990 y 2010 a) vegetación arbórea, b) cultivos y barbecho, c) superficie impermeable, d) vegetación arbustiva y e) humedales

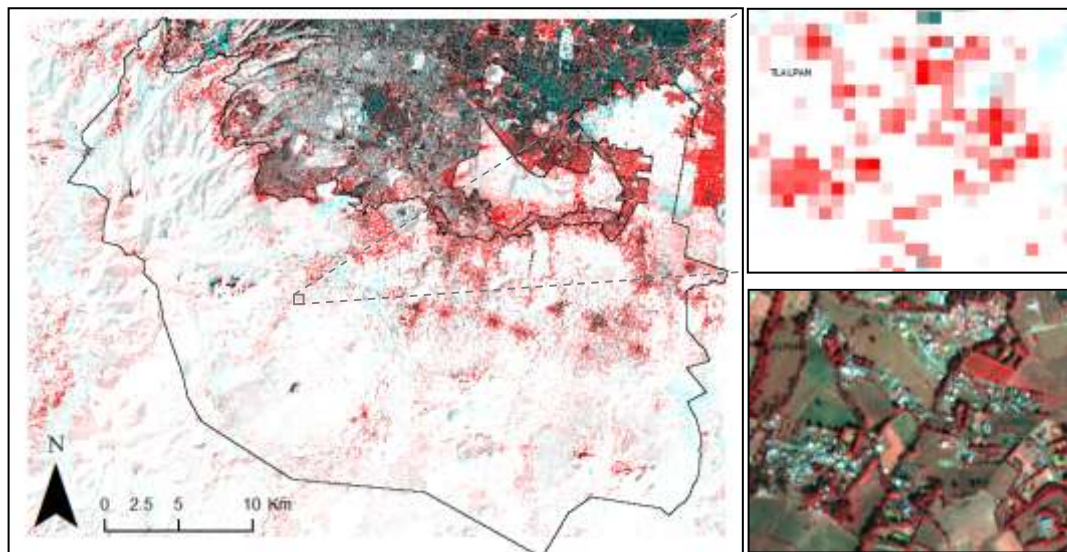






Al realizar la comparación para la superficie impermeable, la cual consistió en usar la visualización rojo-cian de las fracciones de cobertura de 1990 y 2010 para esa clase, la imagen fracción de 2010 se asignó al cañón rojo mientras que la fracción de 1990 se asignó tanto al cañón azul como al verde del dispositivo de despliegue (figura 4.5).

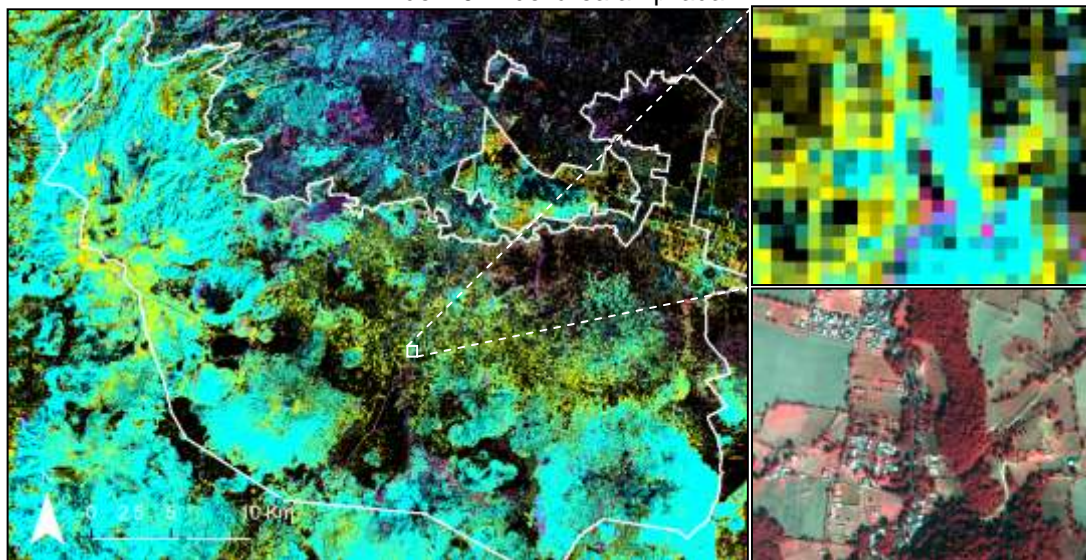
Figura 4.5. Imagen de expansión urbana (izquierda) detectada mediante análisis de cambios subpíxel de imágenes 1990 y 2010. Arriba a la derecha se muestra un asentamiento creado durante el período. Abajo a la derecha toma del worldview 2 en 2012 del área ampliada



Fuente: Silván y Aquino, 2013. En revisión.

Al realizar la comparación para la vegetación arbórea del período 1990-2010, la cual consistió en usar la composición cian-magenta-amarillo, los tonos en cian representaron la vegetación arbórea, mientras que las áreas de deforestación, debido a la actividad agrícola, se representaron en tonos amarillos. Las áreas de deforestación a causa de la expansión urbana se presentaron en tonos magenta (figura 4.6.).

Figura 4.6. Imagen de composición cian-magenta-amarillo de la cobertura vegetación arbórea en imágenes 1990 y 2010 (tonos en cian) que muestran áreas de deforestación por actividad agrícola (tonos amarillos) y por expansión urbana (tonos magenta) (izquierda). En el extremo superior derecho ampliación de un área deforestada durante el período de análisis y abajo a la derecha toma del worldview 2 del 2012 del área ampliada



Fuente: Silván y Aquino, 2013. En revisión.

Asimismo, se generó la matriz de cambio para saber las causas de la ganancia o pérdida de las coberturas bajo análisis. Al igual que en la clasificación supervisada anterior, los renglones representan las proporciones de áreas que cambiaron de un tipo de cobertura a otro indicado por la columna de la matriz. La diagonal representa las proporciones de las coberturas que no sufrieron cambio. Sin embargo, la dificultad de este análisis a nivel subpíxel surge cuando cada uno de los píxeles de la imagen pertenece a más de una clase y en diferentes proporciones. Para sortear esta dificultad, fue posible estimar la matriz de cambio a partir de las fracciones de cobertura con el método de comparación de fracción de cobertura denominado *GPROD*, el cual aproximó con bastante exactitud los cambios a nivel subpíxel (tabla 4.2), pudiéndose generar, en su forma desagregada, mapas de cambios (Silván y Wang, 2013).

Para saber las causas de la urbanización y la deforestación en la periferia sur del SCDF, se cuenta tanto con el apoyo de las figuras 4.5 y 4.6 como con los resultados de la matriz de cambio y el contexto en el cual se desarrollan, con el afán de vislumbrar patrones espaciales y explicar los cambios de cobertura que se suscitaron en el período. Por ejemplo, de la figura 4.5 se observa que la mancha urbana ha seguido un

patrón de expansión (tonos en rojo) en zonas aledañas a los asentamientos humanos preexistentes (tonos en negro), tanto fuera como dentro del área de conservación.

Tabla 4.2. Principales cambios de cobertura y usos de suelo a nivel subpíxel en el SCDF (datos en has.)

2010 1990	Vegetación Arbórea	Cultivos y Barbecho	Superficie Impermeable	Vegetación Arbustiva	Humedales	Total 1990	Ganancias o Pérdidas
Vegetación Arbórea	31,427	1,636	178	751	952	34,944	17,647
Cultivos y Barbecho	15,481	17,019	1,742	3,958	732	38,932	-17,926
Superficie Impermeable	195	470	298	155	63	1,181	1,438
Vegetación Arbustiva	4,598	1,737	383	2,335	201	9,254	-1,995
Humedales	890	144	18	60	401	1,513	836
Total 2010	52,591	21,006	2,619	7,259	2,349	85,824	

De igual forma, se aprecia la aparición de numerosos asentamientos en el interior de la región (zona ampliada). En este sentido, y respondiendo al objetivo general de este estudio, surge la siguiente pregunta: ¿qué efecto tiene la urbanización en la deforestación de la periferia sur del SCDF?

A partir de la matriz de cambio (tabla 4.2) se concluye que de las 85,824 has que representan el total a analizar, 51,480 has permanecieron inalteradas en el período, representando el 60%, y 34,344 has sufrieron cambios, constituyendo el 40%.

Sendos casos merecen contextualizarse. El primero corresponde a la superficie impermeable, la cual es propia del suelo urbano, representada por techos, pavimento y concreto principalmente, que pasó de 1,181 has en 1990 a 2,619 has en 2010, lo que constituye un incremento del 122%. La expansión se da principalmente en las regiones donde se encuentran los pueblos rurales de las delegaciones Cuajimalpa, Tlalpan, Xochimilco y Tláhuac, y en donde aún se desarrollan actividades agropecuarias, resaltando en orden de importancia Xochimilco, Cuajimalpa, Tlalpan y Tláhuac, las cuales dadas las características del perfil de la urbanización, presentan procesos relacionados en mayor medida con la demanda de vivienda de grupos populares de ingresos bajos y en menor escala con sectores de ingresos medios (Cruz, 2011:74).

Según los censos de 1970, 1990, 2000 y 2010 del INEGI, el DF tenía un millón 217 mil viviendas en 1970, veinte años después esta cifra se elevó a un millón 798 mil, o sea, que de 1970 a 1990 el número de viviendas se incrementó en 47.7%; la tasa media anual de crecimiento en el número de viviendas de 1990-2000 y 2000-2010 para el conjunto de delegaciones con SCDF se presenta en la tabla 4.3, resaltando un hecho: las tasas de construcción de vivienda en estas dos décadas son superiores a la de la población en delegaciones con SC (ver tabla 2.2., capítulo 2) - exceptuando los casos de las delegaciones Álvaro Obregón y Tlalpan que registran una mayor tasa de crecimiento en la población que en las viviendas - lo cual revela que la construcción de vivienda va adelante del aumento de la población, lo que sugiere que de seguir esa tendencia de crecimiento en el número de vivienda y descenso en su población, el problema habitacional será más de calidad que de cantidad (Palma, 1992).

Tabla 4.3. Tasa de crecimiento de la vivienda en delegaciones con SC en 1990-2010

Tasa de crecimiento de vivienda		
Delegaciones con SC*	1990-2000	2000-2010
Álvaro Obregón	2.1	1.8
Cuajimalpa	3.8	3.4
Gustavo A. Madero	1.3	0.7
Iztapalapa	3.3	1.2
Magdalena Contreras	2.8	1.8
Milpa Alta	5.8	3.8
Tláhuac	6.0	2.5
Tlalpan	3.2	2.1
Xochimilco	4.7	2.1
Distrito Federal	1.7	1.4

*Suelo de Conservación

Con excepción de Álvaro Obregón y Tlalpan, el parque habitacional continúa aumentando por encima de la tasa de crecimiento poblacional. En la última década, dentro del SCDF, las tres delegaciones con mayor tasa de crecimiento medio anual de viviendas particulares habitadas son Milpa Alta, Cuajimalpa de Morelos y Tláhuac con 3.8%, 3.4% y 2.5% a pesar de que presentan el menor número de viviendas en el DF.

Esto sin dudas implica una disminución del promedio de ocupantes por vivienda en las delegaciones con SCDF (remitirse a la tabla 2.6., capítulo 2), lo que trae como consecuencia la disminución en el tamaño medio de las familias, así como de la oportunidad que ha permitido a la población de estas delegaciones y de la entidad reducir el número de ocupantes y aumentar el número de viviendas (INEGI, 2010).

Algunas de las oportunidades que permiten el constante crecimiento de las viviendas, irregulares principalmente, se deben básicamente a la persistente subdivisión de lotes y la venta ilegal de tierra, y a que los funcionarios locales no tienen competencia para detener las nuevas construcciones. Es decir, en lo que respecta a la subdivisión y venta ilegal de tierra, hay que recordar que existe un contexto generalizado de condiciones de pobreza en el SC por el que se subdivide y vende la tierra agrícola de propiedad social porque ya no produce lo suficiente y se carece de apoyos suficientes; y por el otro lado, está la población urbana de bajos ingresos fuera del SC que compra un pedazo de tierra en el SC porque no puede comprar en el mercado formal por el excesivo costo en los precios (Aguilar y Santos, 2011:115).

Ejemplo de lo antes expuesto se presenta en las delegaciones Tlalpan y Milpa Alta que han incrementado su superficie urbana, la cual se ha venido estableciendo en terrenos agrícolas. En Tlalpan, debido a la baja rentabilidad de la agricultura los ejidatarios están vendiendo sus terrenos, donde se han establecido una serie de zonas especializadas para jugar *gotcha*, rancherías y clubes hípicas de personas no nativas del lugar. En los pueblos de *“San Pedro Mártir, San Andrés Totoltepec y San Miguel Xicalco es mínima la superficie agrícola, sobre todo porque el área urbana de los pueblos se ha estado asentando en esas áreas”* (Rodríguez y López, 2011:265).

En Milpa Alta, las áreas de los poblados incrementaron su superficie, estableciéndose en las parcelas agrícolas alrededor del área urbana. En el poblado de *“Villa Milpa Alta se tuvo un crecimiento urbano, sobre todo en las parcelas agrícolas donde se han establecido casas de manera aislada en los terrenos dedicados al cultivo de nopal”* (Ibíd.: 261).

En Tláhuac, a pesar de la ganancia en superficie de los humedales, los asentamientos irregulares aún no constituyen un riesgo en la preservación del SCDF.

Sin embargo, y contrario a las políticas ambientales del DF, el gobierno de la ciudad de México impulsó la construcción de la Línea 12 de la red del metro, siendo claramente un eje que sigue la ruta de urbanización de los pueblos (Cruz, 2011:89). Esto sin lugar a dudas será un detonante más de presión para el área de preservación ecológica, contribuyendo enormemente a la aceleración del cambio de uso de suelo de conservación de humedales a un uso urbano.

El segundo corresponde a la vegetación arbórea. En esta clase, y contradictorio a lo esperado, no ha sufrido una reducción significativa. Antes bien ha tenido un aumento en términos de superficie que va de 34,944 has en 1990 a 52,591 has en 2010, lo que representa un incremento del 51%. El incremento relativo se debe principalmente a los esfuerzos de reforestación de los bosques de la región, ya que se estimaron 15,481 has que cambiaron de cultivos y suelos en barbecho a vegetación arbórea.

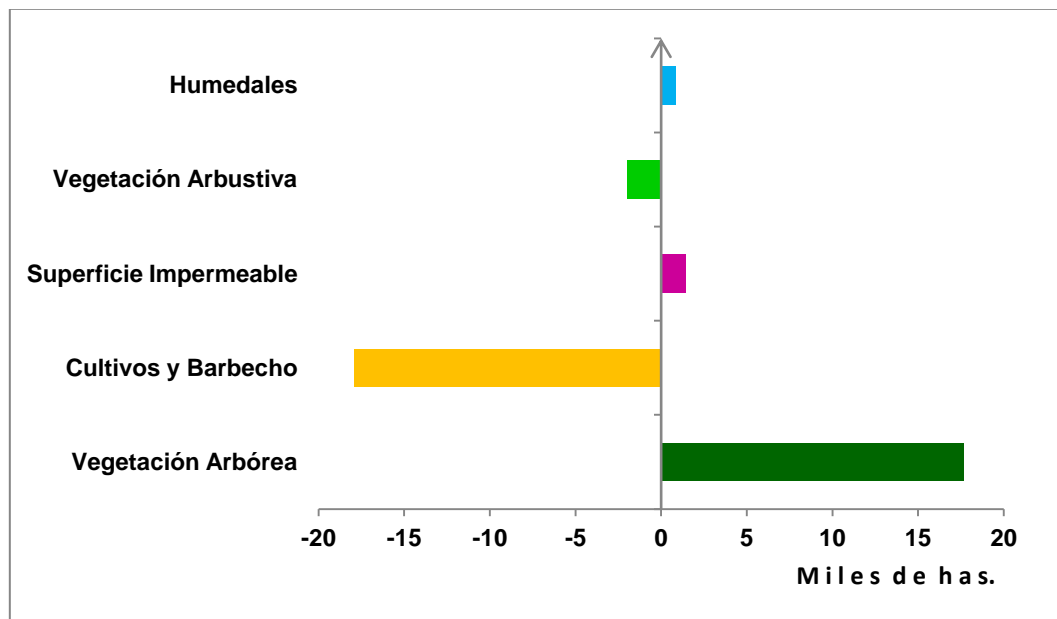
Las pérdidas de cobertura forestal por urbanización no tuvieron un impacto significativo, puesto que la pérdida por causa de sellamiento fue de 178 has, lo que presenta sólo el 5% de la pérdida total. Así, la distribución espacial de las zonas de deforestación se ubica principalmente en zonas boscosas y contiguas a campos de cultivos preexistentes (figura 4.6).

Además de la implementación de programas de reforestación, parte fundamental del mantenimiento de la superficie arbórea en el SCDF se debe al control de incendios, mantenimiento que realiza el gobierno del DF, y que la zona forestal está considerada en veda, por lo que no se permite realizar ningún aprovechamiento forestal, ni corte de árboles (GDF, 2006).

Como bien señala Rodríguez Gamiño (2008), la vegetación arbórea que se encuentra dentro de la zona montañosa de la delegación Milpa Alta, no ha reducido su superficie. Sin embargo, no deja de ser importante la presión que los campesinos ejercen sobre esos bosques y de la tala clandestina persistente.

En este sentido, dentro de la clasificación suave, lo significativo a resaltar durante el período de análisis fue que hubo tres ganadores en superficie: vegetación arbórea, superficie impermeable y humedales, y dos perdedores en superficie: cultivos y barbecho y vegetación arbustiva (figura 4.7).

Figura 4.7. Gráfica de cambios en hectáreas, clasificación suave



4.3. Comportamiento espacial de la población inmigrante

Para efectos de la estructura urbana, los pueblos se consideran como localidades urbanas, a pesar de que su estructura interna y sus formas de vida los distinguen de las colonias populares y fraccionamientos residenciales (Cruz, 2011:81).

Dentro de las diferentes delegaciones que componen la periferia sur del SC, varias de sus localidades fueron asentamientos antiguos de gran importancia. Por ejemplo, San Lorenzo Acopilco en la delegación Cuajimalpa se distinguió por ser una comunidad rural con actividades primarias y un lugar que aún se distingue por captar y proveer agua de lluvia a la ciudad de México. Vale aclarar que es a partir de los años 70's que se presentó un crecimiento acelerado.

La delegación Cuajimalpa tiene dentro de su estructura urbana cinco pueblos, 1) Cuajimalpa; 2) San Pablo Chimalpa; 3) Contadero; 4) San Mateo Tlaltenango; y 5) San Lorenzo Acopilco, de los cuales, el mayor número de asentamientos irregulares (algunos en laderas y barrancas) y viviendas se ubican en los pueblos de San Lorenzo Acopilco y San Matero Tlaltenango. Una característica a resaltar en la delegación es que estos asentamientos irregulares y viviendas *“estén tan cerca de los pueblos lo que*

supone la urbanización de los terrenos de los pueblos tanto por crecimiento natural de los hogares de la población de los pueblos, como a la demanda de suelo para formar colonias populares” (Cruz y Moreno, 2007).

De este modo, se puede deducir que por su ubicación geográfica se convierte en un lugar idóneo para el desarrollo de grandes extensiones de habitación residencial que desplaza a la población nativa, así como a la población de ingreso medio y bajo que continúa ocupando los terrenos en sus áreas de conservación. Gran parte de esos asentamientos irregulares urbanos y/o rurales ocupan terrenos comunales, sobre todo en San Mateo, y en menor medida terrenos ejidales (Cruz, 2011:83).

Lo anterior demuestra la ambivalencia de la naturaleza rural y/o urbana de los asentamientos humanos. Por ejemplo, en el imaginario capitalino, las zonas chinamperas de Xochimilco, Tláhuac y Mixquic, evocaban sitios pintorescos, paisajes acuáticos y rurales por excelencia, lejanos a la ciudad de México hasta mediados del siglo pasado; en la actualidad son simplemente sitios sobre los que avanza, *“quizá de manera inexorable, la vigorosa expansión metropolitana” (González, 2011:273).*

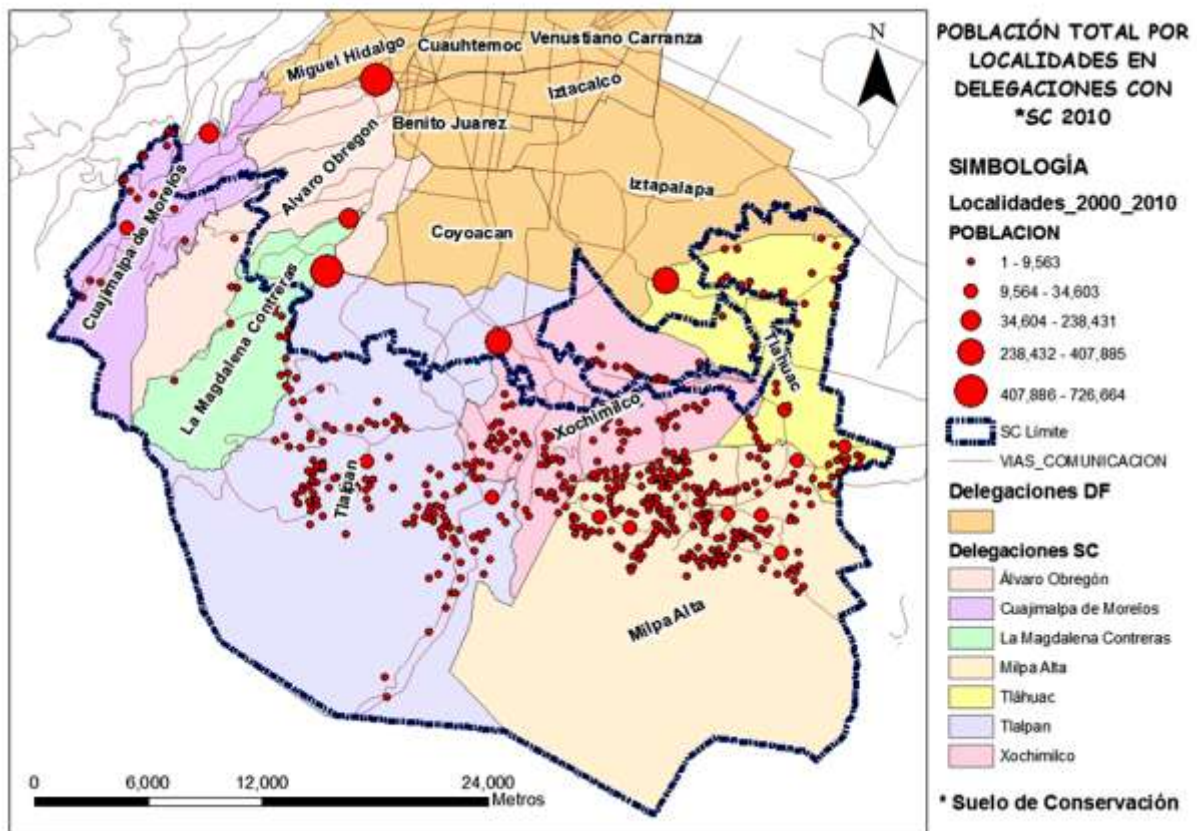
Efectivamente, en los últimos años, según el INEGI, se ha llevado a cabo una continuidad de las tendencias de crecimiento urbano en las delegaciones sureñas del DF, identificándose la aparición de nuevas AGEBS en cinco delegaciones. La delegación que tiene el crecimiento más elevado es Tlalpan, le sigue en importancia Tláhuac, en orden descendente está Milpa Alta, y, finalmente, Álvaro Obregón y Xochimilco.

De las nuevas AGEBS, el 40 por ciento son colonias populares en la delegación Tlalpan y el resto son crecimiento en o cercanos a pueblos conurbados. En Milpa Alta, la urbanización se presenta en torno a los pueblos de San Juan y Pedro Tezompa; en Álvaro Obregón, en el paraje del pueblo de San Bernabé; en Tláhuac, en el pueblo de Tulyehualco; en Xochimilco, en el pueblo de San Lucas Xochimanca (Cruz, 2011:76).

El crecimiento de los pueblos en muchos casos involucra los límites de dos delegaciones, es decir, un pueblo puede estar en una delegación y su urbanización puede estar en terrenos aledaños al poblamiento en otra delegación; este es el caso de San Bernabé Ocoatepec, cuyas tierras están tanto en Álvaro Obregón como en la Magdalena Contreras (Cruz, 2001a).

Dentro del patrón de urbanización, el análisis realizado muestra que Milpa Alta y Tlalpan, inmersas dentro del proceso de urbanización del SC, muestran patrones de ocupación diferentes en sus cambios de uso de suelo y vegetación. Por una parte, Tlalpan, es la que mayoritariamente ha incrementado su cobertura urbana. Por otra parte, Milpa Alta ha tenido un cambio menos drástico en lo urbano y en su superficie agrícola. Así pues, el territorio de Tlalpan es el que más se expande, ya que en 1990 registraba un total de 64 localidades urbanas y rurales; en el 2000 pasó a 122 y en el censo de población y vivienda del INEGI 2010 se constituyó con 141 localidades de las cuales resaltan Tlalpan, San Miguel Topilejo y San Miguel Ajusco (figura 4.8).

Figura 4.8. Mapa de población total por localidades en delegaciones con SC, 2010



En la misma delegación de Tlalpan se identifican diversos patrones de cambio de cobertura vegetal y usos de suelo, como los que señalan Rodríguez y López (2011:267), los cuales están basados en su ubicación con relación a la expansión urbana: 1) se observa la expansión urbana como una continuación natural de la ciudad; 2) el crecimiento de aquellos poblados o rancherías, que tienen varios siglos de

haberse creado, comienza a avanzar sobre el suelo de la delegación, por lo general de manera dispersa, sin relación aparente con la ciudad, y 3) muchas áreas rurales, boscosas, están integrándose al proceso de absorción, ya sea de manera directa o mediante la creación de fraccionamientos residenciales.

Por otra parte, es de particular importancia resaltar el hecho que en la delegación Xochimilco se cuenta con el mayor número de asentamientos humanos irregulares dentro del SC, con más de la tercera parte respecto a las otras delegaciones con SC. Le siguen Tlalpan, Milpa Alta y Tláhuac, respectivamente (PAOT, 2010). Esto sin dudas marca la pauta para identificar patrones no lineales en el SC, dando paso a patrones del tipo *scattered development* (Galster *et al.*, 2001)².

En el caso de Milpa Alta, y de acuerdo a Rodríguez y López (2011), se encontraron los siguientes patrones de expansión urbana: 1) no se presenta hasta el momento un crecimiento urbano como continuación natural de la ciudad, como la de Tlalpan; 2) continúa el crecimiento de los poblados y el establecimiento de viviendas aisladas en parcelas agrícolas, ya que es ahí donde realizan sus actividades agropecuarias, siendo su fuente de ingresos, y 3) se identifican patrones de crecimiento difuso en aquellas áreas rurales, boscosas principalmente, donde se da una conservación de la vegetación natural y se realizan actividades agropecuarias.

Del mismo modo, la movilidad espacial de población inmigrante a áreas de conservación es fundamental para entender los patrones de cambio de uso de suelo y de ocupación del espacio, lo que permite, además, tratar temas como la informalidad de los asentamientos humanos, la inmigración de personas de otras regiones del país y la incorporación constante de nuevas jurisdicciones a las zonas metropolitanas (Ezcurra *et al.*, 2006).

Por ende, el desplazamiento de las personas de un lugar a otro con el propósito de establecer una nueva residencia, obedece, la mayoría de las veces, al interés por alcanzar un mejor nivel de bienestar. Se resaltan dos enfoques que aportan datos valiosos para entender los cambios sociales y económicos que se dan en los lugares de destino de los migrantes en un periodo determinado.

² Patrón físico que define la expansión de manera difusa.

El primero se aboca a la migración absoluta³ (ver anexo), cuyo lugar de nacimiento de los migrantes es diferente al de residencia al momento que se levantó el censo, aunque este indicador no permite saber cuándo migró el individuo y cuántos cambios de residencia ha presentado en su trayectoria de vida por lo que se mantiene estático (INE, 2004). El segundo alude a la migración reciente (ver anexo), lo que facilita el análisis de los flujos migratorios al permitir medir la magnitud y dirección de dicho movimiento en un período de tiempo específico, cinco años en este caso (Ibíd.:71). De igual forma, se aprecia cómo estos fenómenos son factores que afectan la dinámica de crecimiento y la composición por sexo y edad de la población.

En el caso particular del SC según migración absoluta, en el DF, en 1990, 74.6% de la población residente es nativa de la entidad, 24.2% nacieron en otra entidad y 0.7% en otro país; al comparar estas cifras con las registradas en 2010 se observa un ligero aumento de 2.9 (77.5%) puntos porcentuales en la población nativa. Por su parte, los nacidos en otra entidad pasan de 24.2 a 19% de 1990 a 2010, reduciéndose la población inmigrante en ese lapso de 20 años, mientras que la población que nace en otro país pasa de 0.7 a 0.8%.

Merece especial atención el caso de la delegación Milpa Alta, que en 1990 registraba a la población residente nativa en la entidad en 89.3% y en 10% los nacidos en otra entidad; al comparar estas cifras con las registradas en 2010 se observa una disminución de 4.1 (85.2%) puntos porcentuales en la población nativa. Por su parte, los nacidos en otra entidad pasan de 10 a 13.9% de 1990 a 2010, aumentando en cuatro por ciento la población inmigrante durante este lapso de veinte años, mientras que la población que nace en otro país pasa de 0.0 a 0.1% (tabla 4.4).

En forma complementaria a la migración absoluta, se midió la migración reciente o por lugar de residencia cinco años atrás. Así, se observa ya para 1990 de la población total de 5 y más años de edad que residen en el DF, 95% de la población fue residente en la entidad en 1985, 4% vivía en otra entidad y 0.2% en otro país. Por su parte, para el 2010, de la población total de 5 y más años de edad que residen en el DF, 3% vivía en otra entidad en 2005; esta proporción es inferior a la que se presentó en 1990, que

³ A veces llamada migración de toda la vida.

fue 4 por ciento; mientras tanto la población residente que vivía en otro país pasó de 0.2 a 0.5%.

Tabla 4.4. Distribución de la población en delegaciones del DF* con SC según migración absoluta en %, 1990 y 2010**

	Álvaro Obregón		Cuajimalpa		Gustavo A. Madero		Iztapalapa		Magdalena Contreras	
	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010
Nacidos en la Entidad	76.1	80.2	79.8	78.5	75.1	78.4	73.8	77.2	78.0	82.1
Nacidos en Otra Entidad	22.7	17.1	19.2	16.7	24.4	19.8	25.7	21.2	20.9	15.9
Nacidos en Otro País	0.8	0.8	0.7	1.9	0.2	0.3	0.1	0.2	0.7	0.6
No Especificado	0.5	1.9	0.3	2.9	0.3	1.5	0.4	1.3	0.4	1.4

	Milpa Alta		Tláhuac		Tlalpan		Xochimilco		Distrito Federal	
	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010	1990	2010
Nacidos en la Entidad	89.3	85.2	79.2	80.6	73.0	76.4	80.7	81.5	74.6	77.6
Nacidos en Otra Entidad	10.0	13.9	20.4	18.2	25.4	20.0	18.6	16.7	24.2	19.0
Nacidos en Otro País	0.0	0.1	0.1	0.2	0.8	0.8	0.3	0.3	0.7	0.8
No Especificado	0.7	0.8	0.4	1.0	0.8	2.8	0.4	1.4	0.6	2.6

* Distrito Federal ** Suelo de Conservación

Con relación al SC, el caso de la delegación Cuajimalpa resalta, ya que en 1990 la población total de 5 y más años de edad que vivía en la delegación en 1985 registraba un 95.8% y en 3.6% la población residente que vivía en otra entidad; al comparar estas cifras con las registradas en 2010 se observa una disminución de 1.6 (94.1%) puntos porcentuales en la población residente que vivía en la delegación en 2005. Por su parte, los residentes que vivían en otra entidad pasan de 3.6 a 4% de 1985 a 2005, es decir, un aumento en la población inmigrante, mientras que la población residente que vivía en otro país pasa de 0.3 a 1% (tabla 4.5).

En este sentido, la presión que ejerce la inmigración reciente hacia el SCDF es un hecho. Su representación espacial (figura 4.9) señala un incremento de población inmigrante en las diversas AGEBS urbanas que conforman la periferia sur SCDF, la cual es preponderantemente positiva (tonos en rojo) para el SC y preponderantemente negativa (tonos en azul) para las zonas urbanas aledañas al SC, lo que sugiere un flujo de población de la zona urbana central de la ciudad a las zonas rurales periféricas del SCDF, siendo un importante destino para los migrantes de la misma ciudad con carencias económicas (INEGI, 2010).

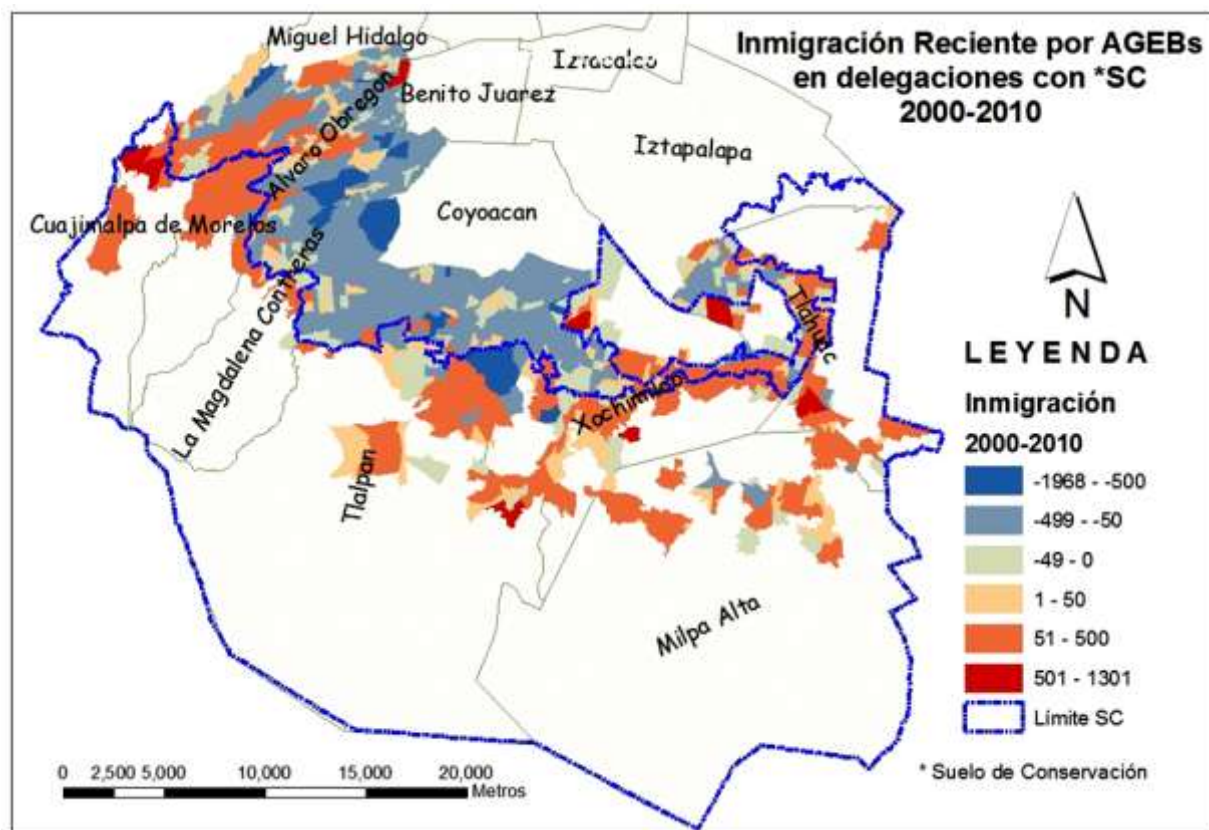
Tabla 4.5. Distribución de la población de 5 años y más en delegaciones del DF* con SC** según migración reciente en %, 1985 y 2005

	Álvaro Obregón		Cuajimalpa		Gustavo A. Madero		Iztapalapa		Magdalena Contreras	
	1985	2005	1985	2005	1985	2005	1985	2005	1985	2005
<i>Residentes en la Entidad</i>	95.6	96.0	95.8	94.1	95.7	96.1	95.4	96.9	95.7	96.7
<i>Residentes en Otra Entidad</i>	3.6	2.4	3.6	4.0	3.8	3.0	4.1	2.3	3.5	1.9
<i>Residentes en Otro País</i>	0.3	0.5	0.3	1.0	0.1	0.3	0.1	0.3	0.3	0.4
<i>No Especificado</i>	0.5	1.1	0.3	0.9	0.4	0.6	0.5	0.5	0.6	1.0

	Milpa Alta		Tláhuac		Tlalpan		Xochimilco		Distrito Federal	
	1985	2005	1985	2005	1985	2005	1985	2005	1985	2005
<i>Residentes en la Entidad</i>	96.7	97.6	96.0	96.9	93.9	95.9	95.8	97.0	95.2	95.8
<i>Residentes en Otra Entidad</i>	2.4	1.6	3.3	2.2	5.1	2.9	3.6	2.1	4.1	3.0
<i>Residentes en Otro País</i>	0.0	0.2	0.0	0.3	0.3	0.4	0.1	0.3	0.2	0.5
<i>No Especificado</i>	0.9	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7

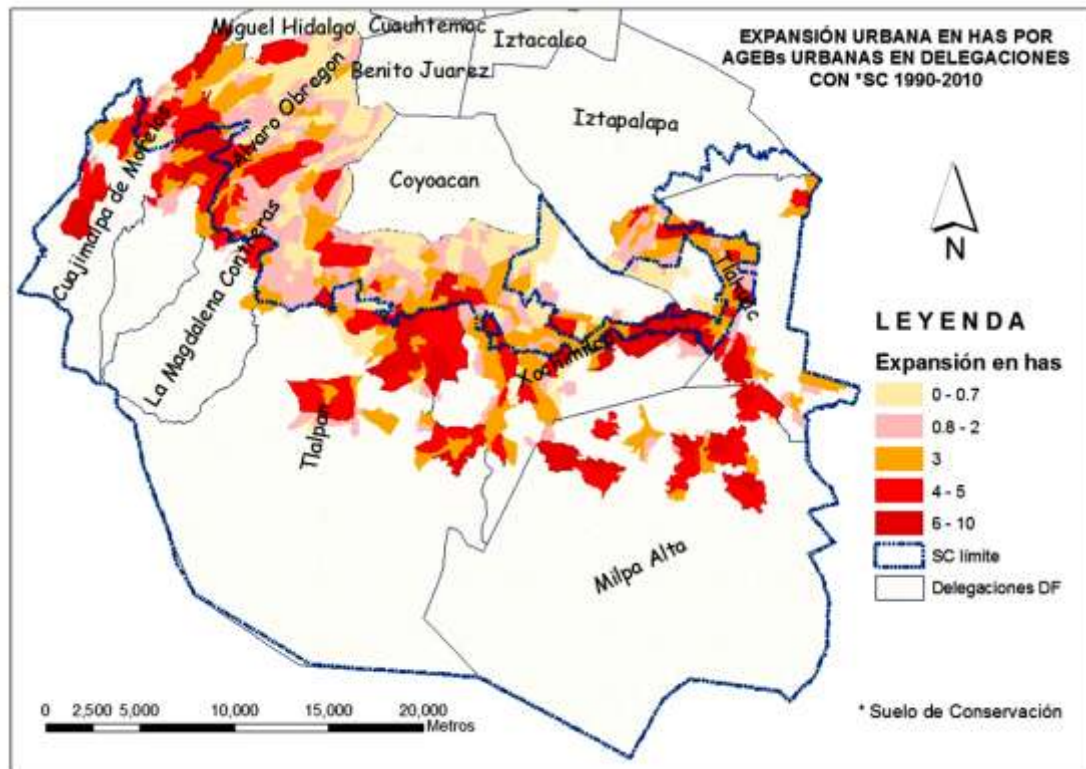
* Distrito Federal ** Suelo de Conservación

Figura 4.9. Mapa de inmigración reciente por AGEBS en delegaciones con SC, 2000-2010



Este incremento de la inmigración se ve reflejado en la expansión urbana por hectáreas (figura 4.10), apreciándose los mayores porcentajes de expansión dentro de las delegaciones Cuajimalpa, Tlalpan y Milpa Alta, corroborándose los patrones de cambios de uso de suelo mencionados anteriormente.

Figura 4.10. Mapa de expansión urbana en has por AGEBs urbanas 1990-2010

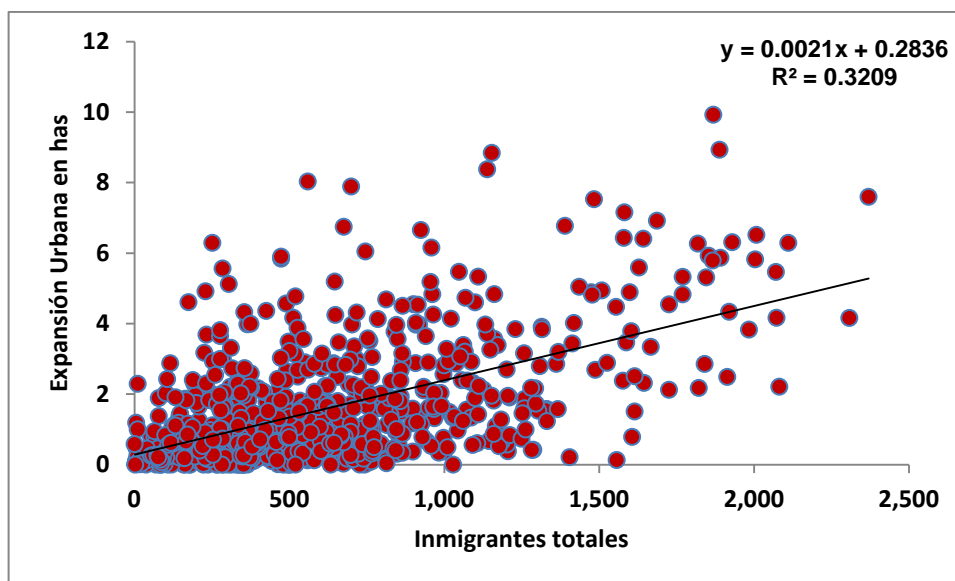


De esta manera, si la densificación central va acompañada por una densificación de los siguientes contornos, “*ya sea por el crecimiento natural de la población o por el efecto de desplazamiento poblacional del centro hacia afuera, este efecto tendría que ser notorio en los patrones de movilidad residencial*” (Suárez y Delgado, 2007:110).

La figura 4.11 corrobora la relación entre la inmigración reciente y la expansión urbana, siendo además una relación positiva entre las dos variables. La relación es lineal, es decir, a mayor número de inmigración reciente aumentará la expansión urbana en las distintas AGEBs que se encuentran en las delegaciones con SC. No

obstante, el resultado indica que la correlación es positiva pero no perfecta, es decir, la correlación de 0.32 es baja pero efectiva porque es distinta de cero⁴.

Figura 4.11. Gráfica de relación entre expansión urbana e inmigración en AGEBs en SC, 2010



Así que no obstante los Planes y Programas de Desarrollo Urbano de las ciudades decreten territorios como agrícolas o de conservación ecológica, la fuerza social y especulativa en la ocupación del suelo rebasa en muchos casos la capacidad de las autoridades locales para controlar y regular los límites urbanos (Bazant, 2011). La expansión del área urbana está mediada por políticas de planeación y por decisiones de diversos actores que afectan la expansión en forma determinante, tales como empresas constructoras e inmobiliarias, influyendo ciertos procesos complejos que a *“primera vista son aleatorios pero que siguen patrones identificables, como los movimientos de la población hacia las afueras de una ciudad”* (Chapin y Weiss, 1962).

En este sentido, la evidencia proporcionada por el análisis de cambios de uso de suelo a partir de imágenes satelitales y el análisis de los datos demográficos apuntan a que gran parte de la problemática de la urbanización y la constante presión que sufre la vegetación arbórea, se debe a procesos migratorios internos que deben ser atendidos con urgencia (Silván y Aquino, 2013. En revisión).

⁴ La significación del coeficiente de correlación depende en gran medida del tamaño de la muestra. Una correlación de 0.01 puede ser significativa en una muestra suficientemente grande y otra de 0.9 no serlo en una muestra pequeña (<http://core.ecu.edu/psyc/wuenschk/docs30/corr6430.doc>).

“Un paisaje no es la descripción, más o menos acertada, de lo que ven nuestros ojos sino la revelación de lo que está detrás de las apariencias visuales; un paisaje nunca está referido a sí mismo sino a otra cosa, a un más allá; es una metafísica, una religión, una idea del hombre y el cosmos”.

Octavio Paz

CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

5.1. Discusión

A partir de los resultados obtenidos en este estudio y como parte de la aplicación de los modelos *máxima verosimilitud* y *SMACC*, el cambio de cobertura y uso del suelo de la periferia sur del SCDF presenta un aumento en extensión de vegetación arbórea y superficie impermeable. Sin embargo, tal aumento sigue patrones diferentes de cambios de cobertura vegetal y uso de suelo en delegaciones con SC.

Para explicar los patrones de cambio de uso de suelo, es importante tomar en cuenta varios factores que interactúan en diversos contextos a escalas locales, regionales o globales (Geist *et al.*, 2006). Factores sociales y económicos, política ambiental, propiedad de la tierra, entre otros, son posibles causas que han disparado los cambios de uso de suelo en el SCDF.

Para ilustrar lo anterior, se puede tomar el ejemplo de las coberturas clave de este estudio: superficie impermeable y vegetación arbórea. En la primera se observa con los compuestos de las imágenes a nivel subpíxel que las ganancias en superficie se llevaron a cabo principalmente en las regiones donde se encuentran los pueblos rurales de las delegaciones Cuajimalpa de Morelos, Tlalpan, Xochimilco y Tláhuac. Además, resulta interesante aclarar que el crecimiento urbano se dio en delegaciones donde aún desarrollan actividades agropecuarias, resaltando las delegaciones Xochimilco, Cuajimalpa, Tlalpan, Tláhuac y Milpa Alta.

Entre los patrones de crecimiento urbano más sobresalientes entre 1990-2010 destacan las delegaciones Cuajimalpa, Tlalpan, Tláhuac y Milpa Alta. En Cuajimalpa, la urbanización se ha acelerado en los últimos años, ya que han realizado grandes

inversiones inmobiliarias, producto de la reestructuración económica de la ciudad de México. El caso del megaproyecto de Santa Fe corrobora el comentario anterior, aumentando el valor del suelo y formando nuevas áreas residenciales y comerciales de alto nivel. De igual forma, otro efecto evidente en la delegación es el creciente proceso de urbanización entre la urbanización de alto nivel de Santa Fe y los poblados rurales y colonias populares ubicados en zonas boscosas (Cruz y Carrillo, 2006).

Tlalpan, que en los últimos años ha incrementado su población, posee una estructura poblacional que se caracteriza por fraccionamientos residenciales, conjuntos habitacionales y por una importante presencia de colonias populares, ubicadas en zonas de pedregales, terrenos ejidales y comunales. De igual forma, en su perímetro se localizan poblados semi-rurales y pueblos tradicionales donde realizan aún actividades agropecuarias en terrenos con vocación de preservación ecológica. Los principales cambios de uso de suelo se han llevado a cabo sobre todo en áreas de cultivos y zonas de barbecho.

En Tlalpan se identificaron principalmente tres patrones de cambio de uso de suelo: 1) la expansión urbana continúa como expansión natural de la ciudad; 2) el crecimiento de pueblos y ranchos tradicionales se lleva a cabo de manera dispersa, sin relación aparente con la ciudad, y 3) áreas rurales con vegetación arbórea están siendo integradas al proceso de absorción.

En lo que respecta a la delegación Tláhuac. De 1950 a 1970 se consideró una delegación en transición de rural a urbana, y para el año 2000 ya se consideraba totalmente urbana (Ibarra, 2000). En la actualidad, la delegación aún mantiene una actividad agrícola importante y se identifican los siguientes patrones de urbanización principalmente en: 1) el centro de la delegación en torno a San Pedro Tláhuac, lugar del que parte la vialidad principal, avenida Tláhuac con dirección hacia el sur, que ha generado un área continua de urbanización hacia el pueblo de San Juan Ixtayopan; 2) el nororiente de la delegación, vinculado con el desbordamiento de la urbanización de la delegación Iztapalapa, en el que se localizan las colonias populares y algunos asentamientos irregulares, así como los pueblos de San Francisco Tlaltenco y Santiago Zapotitlán; y 3) el sur de la delegación, que ha crecido a menor ritmo en los que se encuentran los pueblos sureños de San Andrés Mixquic y San Nicolás Tetelco. En

resumen, la parte nororiental y central de la demarcación ha crecido fundamentalmente en tierras ejidales (Cruz, 2011).

De igual forma, la delegación Milpa Alta, donde el incremento en su urbanización se ha dado principalmente en tierras comunales. Este patrón de crecimiento difuso en la demarcación no es sorprendente, ya que la tierra disponible es mayoritariamente comunal y minoritariamente privada. En este sentido, para Milpa Alta resaltan los siguientes patrones de cambio de uso de suelo: 1) no se presenta hasta el momento un crecimiento urbano como continuación natural de la ciudad; 2) continúa el crecimiento de los poblados y el establecimiento de viviendas aisladas en parcelas agrícolas, ya que es ahí donde realizan sus actividades agropecuarias, y 3) se identifican patrones de crecimiento difuso en aquellas áreas rurales, boscosas principalmente, donde se da una conservación de la vegetación natural y se realizan actividades agropecuarias (Rodríguez y López, 2011).

De esta forma, los pobladores de los asentamientos irregulares, tanto en áreas ejidales como privadas, saben que después de un tiempo el gobierno local realizará la regularización de la tenencia de la tierra e introducirá de manera gradual obras, servicios e infraestructura, por lo cual al final contarán con un patrimonio familiar: su vivienda (Palma, 1992).

Comparando los resultados de las matrices de cambio de las clases superficie impermeable y vegetación arbórea con investigaciones anteriores sobre cambio de cobertura y uso de suelo realizadas sobre la periferia sur del SCDF, existe coincidencia con los resultados de Rodríguez y López (2011) para Milpa Alta. En su estudio comentan que el uso de suelo urbano fue el que tuvo un incremento mayor en los 30 años analizados (1970-2000), asegurando que no fue tan drástico como el de otras delegaciones del DF. Esto se debió principalmente al aumento de superficie urbana de los poblados, estableciéndose en las parcelas agrícolas aledañas al área urbana delimitada en 1970. En el poblado de Villa Milpa Alta se tuvo un crecimiento urbano, sobre todo en las parcelas agrícolas donde se han establecido casas de manera aislada en los terrenos dedicados al cultivo del nopal. Por lo que respecta a la vegetación arbórea, en general no se ha reducido a pesar de la presión por parte de campesinos, la tala clandestina y la cercanía que algunos bosques tienen con las áreas agrícolas y

de pastizales. En general, estas áreas boscosas se encuentran en las porciones más altas de la delegación, específicamente en zonas montañosas de la demarcación.

En relación a la delegación Tlalpan, en el mismo estudio, los autores señalan que el uso de suelo urbano ha seguido un patrón de crecimiento continuo y acelerado como resultado de un aumento poblacional, que ha sido uno de los más dinámicos en las áreas periféricas de la ciudad de México. La expansión urbana ha tenido un incremento sobre todo en los poblados de San Miguel Topilejo, Parres el Guarda, Santo Tomás y San Miguel Ajusco, pueblos que han tenido principalmente un crecimiento natural de su población. No obstante, aquí se nota claramente que los ejidatarios han repartido sus tierras entre sus familiares, es decir, hijos y nietos, por lo que se ha llevado a cabo el establecimiento de asentamientos irregulares y como consecuencia el incremento de las áreas urbanas en las áreas más alejadas del casco urbano.

Sin embargo y a pesar del incremento en la construcción de viviendas en Tlalpan y Álvaro Obregón, la tasa de crecimiento de población es superior a la tasa de crecimiento en la vivienda, lo cual revela que en ambas demarcaciones la población va adelante del aumento de las viviendas, por lo que la vivienda familiar pudiera también ampliarse para recibir a nuevas generaciones.

Por lo que respecta a la vegetación arbórea, esta ha mantenido su superficie y su cobertura vegetal alta debido a la implementación de programas de reforestación, control de incendios y que la zona forestal está considerada como veda, por lo que no se permite el aprovechamiento forestal. No obstante, a pesar de la no existencia de alteraciones en la cobertura forestal, se concluye que ésta ha resentido los efectos de los incendios que se suscitan año con año.

Con respecto al trabajo de CORENA, existe concordancia con los resultados que obtuvieron a través de la realización de un estudio multi-temporal entre 1970 y 2007, donde se evaluaron las tendencias de uso de suelo en el SCDF. Se encontró que dentro de este lapso de tiempo, la vegetación arbórea en general mantuvo su cobertura original. Sin embargo, se identificaron algunas pérdidas de cobertura de bosques de coníferas, cambiando principalmente a pastizal y a uso agrícola.

Por su parte, dentro del mismo análisis, la superficie agrícola disminuyó, lo que implica que la frontera agrícola no se haya expandido. Al contrario, el uso agrícola avanzó sobre pastizales y el bosque. No obstante, aclaran que el primer paso para la urbanización en el SCDF es la conversión de vegetación natural al sistema agrícola, el cual, cuando ya no es productivo, se urbaniza.

En términos generales es difícil sostener que el problema de la expansión urbana en las áreas de preservación ecológica está centrado en la proliferación de asentamientos humanos irregulares vinculados directamente a la formación de colonias populares. Además, también es importante incluir las características del poblamiento rural, sobre las cuales se conoce muy poco, debido a que normalmente se concibe lo rural desde una perspectiva urbana sin tomar en cuenta que es importante reconocer que tanto pueblos como localidades rurales tienen una dinámica interna específica a partir de la cual se relacionan con los procesos urbanos (Cruz, 2011).

Asimismo se debe tomar en cuenta que este proceso de inmigración de personas hacia áreas de conservación no es el principal y único detonante que impacta el cambio de uso de suelo y vegetación de la zona de conservación. Existen otros factores como la demanda de suelo para vivienda, ocupación irregular de la tierra y crecimiento desmedido de asentamientos humanos, que generan cambios de uso de suelo y vegetación en el SCDF, siendo algunos de los principales ejes del desarrollo urbano y la tenencia de la tierra que deben ser atendidos con urgencia por las diferentes instancias de gobierno.

Por otra parte, los dos métodos implementados en el análisis estimaron de forma válida y fiable las cinco clases que estuvieron bajo análisis. Tanto la superficie impermeable como la vegetación arbórea se identificaron de forma satisfactoria, a pesar de que la matriz de cambios a nivel subpíxel con el método *SMACC* no pudiera ser evaluada en exactitud o que el método de máxima verosimilitud subvaluara o sobrevalorara la dimensión y el tipo de cambio sucedido en el SCDF, ya sea por errores de registro en las imágenes satelitales, el efecto de la variación en la iluminación atmosférica en fechas distintas en la misma área, variabilidad en los sensores, efectos de topografía, tipos de vegetación heterogénea, etc., (Foody, 2002).

Se espera que los resultados que se presentan en esta investigación sean útiles para el estudio de ecosistemas urbanos y que proporcionen una base para la planificación urbana y el análisis geográfico-ambiental. Los mapas de composición de superficie impermeable y vegetación arbórea, a nivel subpíxel, son un aporte importante de este estudio.

En este sentido, los mapas de composición de coberturas final para la clase superficie impermeable y la clase vegetación arbórea, a nivel subpíxel (método suave con *SMACC*), contienen información considerable sobre los componentes menores de cobertura de suelo que normalmente no se extraen a partir de imágenes de satélite por medio de un clasificador a nivel píxel (método duro con máxima verosimilitud).

Los mapas pueden ser útiles en diversos estudios urbanos, tales como estudios de geografía de la población, de modelado de escorrentía, de análisis de contaminación atmosférica, de investigación forestal urbana, de efecto de isla de calor urbano, de crecimiento urbano, de modelado de cambio urbano y de impacto ambiental debido a la urbanización.

De esta manera, la evidencia proporcionada por el análisis de cambios de uso de suelo a partir de imágenes satelitales y el análisis de los datos demográficos apuntan a que gran parte de la problemática de la urbanización y la constante presión que sufre la vegetación arbórea, se debe a procesos migratorios internos que deben ser atendidos con prontitud por las instituciones correspondientes.

5.2. Conclusiones

El objetivo fundamental de este estudio fue generar conocimientos nuevos sobre los cambios de uso de suelo de la periferia sur del SCDF, generados por expansión urbana, inmigración de personas y la consecuente pérdida de cobertura forestal, analizando las relaciones espaciales entre sí.

En este sentido, el análisis de cambio de uso de suelo en la periferia sur del SCDF ha demostrado que con el transcurso del tiempo, la expansión urbana ha venido acrecentando su expansión en los últimos años, generando pérdida de suelo agrícola y

presión a la vegetación arbórea por parte de campesinos por la cercanía que algunos bosques tienen con las áreas agrícolas y pastizales. El crecimiento urbano es uno de los fenómenos más extendidos en la actualidad y su repercusión en el ambiente requiere de nuevos análisis, nuevas metodologías que permitan aproximarse con mayor detalle a la realidad.

Para elaborar capítulo segundo de esta investigación se analizaron estudios y publicaciones representativas del campo de la percepción remota, prestando especial interés a las que hicieran referencia a estudios de cambios de uso de suelo por expansión urbana y deforestación. Esa revisión bibliográfica permitió adquirir una visión general del tema del cambio de uso de suelo por medio de percepción remota, detectando las principales ventajas e inconvenientes de los métodos existentes, sus aplicaciones y las tendencias actuales en la investigación sobre ese tópico.

Así lo demuestra la implementación de los métodos de clasificación dura y suave utilizados en la investigación. Referente a la clasificación dura supervisada con el método de máxima verosimilitud se obtuvieron las siguientes ventajas y desventajas:

- Ofreció buenos resultados identificando las clases asignadas.
- Obtuvo un buen resultado tras validar la exactitud de la clasificación de las clases asignadas con los puntos de control.
- Sin embargo, y a pesar de los buenos resultados generados tanto para la clasificación como para la evaluación de la exactitud, el método de clasificación dura de máxima verosimilitud no deja de estar supeditado a sobreestimar o subestimar las clases porque asigna a un solo píxel una cobertura, generalizando el análisis.

Al implementar el método suave *SMACC*, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Su ventaja radica en que pudo identificar más de una clase dentro de cada píxel de las imágenes en diferentes proporciones.
- Efectúa una buena resolución espacial al extraer información a nivel de subpíxel.

- Fue posible analizar los cambios de cobertura, la distribución geográfica de las áreas de cambio y la cuantificación de las áreas de cambio y no-cambio de una manera más eficiente con la ayuda de la matriz *GPROD*.
- Aún no es posible evaluar la exactitud de la matriz de cambio a nivel de subpíxel.

En general, ambos métodos presentan la ventaja de aplicación directa en el seguimiento de eventos altamente dinámicos como son la expansión urbana y la deforestación, utilizando imágenes de satélite de moderada resolución espacial (30 m) como se estipula en los objetivos de esta investigación. De esta forma, los objetivos de esta investigación se cumplieron satisfactoriamente al implementar y comparar ambos métodos para estimar cambios de cobertura y uso de suelo de superficie impermeable y vegetación arbórea entre 1990 y 2010. Los mismos objetivos se vieron reforzados al analizar los cambios de uso de suelo a partir de imágenes satelitales a nivel subpíxel con el análisis de los datos demográficos de la migración, arrojando un hecho ineludible: la problemática de la urbanización en el Suelo de Conservación y la constante presión que sufre la vegetación arbórea, se debe principalmente a procesos migratorios internos.

Por otra parte, el cambio ocurrido en el área de estudio a través de la extracción de información geoespacial de las imágenes satelitales permitió determinar que existe un claro proceso de urbanización en varias de las localidades urbanas y rurales y los pueblos de la periferia sur del SCDF, por lo que el avance de la mancha urbana se está llevando a cabo en áreas de conservación, generando la ocupación atomizada del territorio y la consecuente pérdida de suelo de gran valor ambiental para la ciudad de México. Esta presión estuvo dirigida principalmente hacia áreas de cultivos y zonas en barbecho, donde se localizaron las mayores pérdidas por superficie.

El censo de población del 2010 indica que la ciudad de México no consolidó su papel como una fuente importante de migrantes internos como había sido documentado en el censo de 1990. Sin embargo se observa que existe un saldo positivo migratorio en las diversas localidades que conforman el Suelo de Conservación de la periferia sur del Distrito Federal, siendo un importante destino para los migrantes de la misma ciudad con carencias económicas o no. El encarecimiento de la ciudad central continua

fomentando la expulsión de la población económicamente más vulnerable hacia la periferia de la metrópoli y la periferia sur, particularmente, *“provocando una desbocada expansión urbana sobre las áreas naturales ya sean de conservación o no, haciendo aún más precaria su condición ambiental al reducir los espacios de recarga natural de los acuíferos de los que ésta se abastece”* (Ímaz et al., 2011:40).

Los procesos migratorios hacia las grandes ciudades como la ciudad de México son profundamente dinámicos y complejos. Responden a factores económicos, ambientales, sociales, culturales y políticos tanto del lugar de origen como de destino. Es importante señalar que es insuficiente la interpretación de todos los elementos que se incorporan al tratar de explicar el fenómeno de la migración, tales como diferencias de ingresos, condiciones ambientales, redes sociales y familiares, etc., para desarrollar conocimiento sobre la movilidad y el impacto territorial de la población. Como propuesta, es necesario un análisis en profundidad de la información censal, con atención a las nuevas unidades de análisis y de las relaciones entre las diversas variables que la integran.

Resumiendo los métodos empleados, a partir de la combinación de técnicas en percepción remota, SIG y análisis estadístico, es posible demostrar el potencial que tienen para abordar estudios de cambios de usos de suelo, ya que no sólo permiten obtener imágenes categorizadas de las coberturas, sino que permiten cuantificar los cambios y observar su dinámica a diferentes niveles de detalle, para con ello ganar en entendimiento sobre las diferentes coberturas que se están interrelacionando.

De esta manera, la distribución de los pueblos y localidades rurales y urbanas, actualmente asentados dentro de este espacio de conservación, debe constituir un elemento de apoyo y gestión para garantizar la conservación efectiva de los recursos y servicios ambientales de la región. La planificación local y regional de actividades económicas, agrícolas, pecuarias, forestales, no forestales, de recreación, política urbana, etc., que se lleven a cabo, deben ser fundamentales para tratar de construir ejes de bienestar que compatibilicen con las acciones de conservación sin afectar las actividades económicas locales. Autoridades locales y habitantes jugarán un rol importante en este punto, poniendo en funcionamiento acciones urgentes con el fin de conservar los recursos y servicios ambientales que aun ofrece el SC en su periferia sur.

La pérdida de suelo agrícola, la degradación del suelo, de los bosques que contribuye a la deforestación, la pérdida de especies vegetales y animales, y el crecimiento de la mancha urbana tienen un sinnúmero de efectos colaterales en el entorno ambiental. Así, la desaparición de las condiciones ecosistémicas originales reducirá y fragmentará progresivamente el espacio vital de los subsistemas bióticos y abióticos, lo cual contribuirá a la reducción de la capacidad local de abastecer sus servicios ambientales que sirven para mantener la constante reproducción del sistema ambiental global, así como también el mantenimiento del dinamismo socioeconómico de toda aglomeración humana.

ANEXO

Tasa de crecimiento geométrico: La tasa de crecimiento es la velocidad o ritmo de cambio de los efectivos de la población en un periodo determinado.

La tasa se obtiene al relacionar una población en dos momentos, asumiendo un modelo de comportamiento, en este caso geométrico, lo que supone el incremento acumulado de la población en función de la población inicial.

Esta tasa es la de uso más frecuente, debido al comportamiento que ha seguido el crecimiento de la población en México.

Algoritmo: Crecimiento geométrico: $P_{t+h} = P_t (1 + r)^h$, de donde:

$$r = \left(\frac{Pob_{2010}}{Pob_{2000}} \right)^{\frac{1}{10}} - 1 = \left(\frac{16.137}{15.115} \right)^{\frac{1}{10}} - 1 = 0,00656$$

r = Tasa media de crecimiento

P_{t+h} = Población al final del periodo

P_t = Población al inicio del periodo

h = Tiempo transcurrido en el periodo

Índice de densidad de población: Es la relación entre un espacio determinado y el número de personas que lo habitan, el cual se obtiene dividiendo el número de personas que viven en un lugar específico entre el número de kilómetros cuadrados que mide ese territorio (INEGI).

Migración absoluta o acumulada: Los migrantes acumulados son aquellos cuyo lugar de nacimiento es diferente al de residencia al momento que se levantó el censo, aunque este indicador no permite saber cuándo migró el individuo y cuántos cambios de residencia ha presentado en su trayectoria de vida, por lo que este indicador se mantiene estático (INE, 2004). Para obtener el cálculo se necesita la proporción de población migrante nacida en otra entidad con respecto a la población total de la delegación, y se calcula con la siguiente fórmula según el INE:

$$MA = PbNOE/PobTotDel * 100$$

En donde:

PbNOE = Población Nacida en Otra Entidad de la delegación

PobTotDel = Población Total de la delegación

Migración reciente: Permite confirmar el patrón observado con la inmigración acumulada. Además permite el cálculo de la capacidad de atracción reciente; facilita el análisis de los flujos migratorios al permitir medir la magnitud y dirección de dicho movimiento en un período de tiempo específico, cinco años en este caso (INE, 2004:71). Para obtener el cálculo se necesita la proporción de población inmigrante residente en otra entidad cinco años antes de la fecha del censo de población a tomarse en cuenta (1995 para el caso del censo del 2010 de INEGI) con respecto a la población total de la delegación, y se calcula con la siguiente fórmula según el INE:

$$MR = PbResOE/PobTotDel * 100$$

En donde:

PbResOE = Población Residente en Otra Entidad de la delegación

PobTotDel = Población Total de la delegación

AGEB: Constituye la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional (MGN), se clasifica en dos tipos: **urbana** y **rural**.

La **AGEB urbana** es el área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas que generalmente son de 1 a 50 habitantes, perfectamente delimitadas por calles, avenidas, etc.; este tipo de AGEB se asigna en áreas geográficas de localidades que tengan una población igual o mayor a 2,500 habitantes.

La **AGEB rural** es una extensión territorial que puede llegar a tener hasta 10,000 hectáreas y contener un conjunto de localidades con menos de 2,500 habitantes cada una, asentadas en terreno de uso generalmente agropecuario o forestal.

Así, las AGEBs urbanas subdividen a las áreas del país que cuentan con 2,500 o más habitantes, o que son cabeceras municipales, éstas son denominadas localidades urbanas de acuerdo al MGN. Las AGEBs rurales subdividen al resto del país, y se denominan localidades rurales, es decir, aquellas que tienen menos de 2,500 habitantes y que no son cabeceras municipales. Por lo anterior, las AGEBs urbanas están contenidas en localidades urbanas y las AGEBs rurales contienen localidades rurales (INEGI, 2000).

BIBLIOGRAFÍA

- Abramovitz, J., 1998, Sustaining the World's Forest, *State of the World 1998*, 21-40.
- Aguilar, Adrián Guillermo y Clemencia Santos, 2011, Asentamientos informales y preservación del medio ambiente en la Ciudad de México. Un dilema para la política de uso de suelo, Pérez, Enrique, María Perevochtchikova y Sophie Ávila (coords), *Suelo de Conservación del Distrito Federal ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* México, IPN-Miguel Ángel Porrúa, pp. 93-124.
- Alhaddad, B., B. E. Arellano y J. Roca, 2012, Urban detection, delimitation and morphology: Comparative analysis of selective "megacities", *ISPRS*, **39**, 381-386.
- Al-Kheder, Sharaf y Jie Shan, 2006, Fuzzy and Crisp Cellular Automata for Urban Growth Simulation, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, Reno, Nevada, May 1-6.
- Al-Kheder, S., 2007, Cellular automata urban growth model calibration with genetic algorithms, *Urban Remote Sensing Joint Event*, Purdue University., Lafayette, 1-5.
- Álvarez, K. E., 2000, *Geografía de la educación ambiental: algunas propuestas de trabajo en el Bosque de Los Dinamos, Área de Conservación Ecológica de la Delegación Magdalena Contreras*. Tesis Profesional en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Álvarez, Ricardo, 2010, Mini-manual, Aspectos básicos del procesamiento digital de imágenes con el software ENVI versión 4.0, inédito, Cuba.
- Amin Abd-Allah, Mohamed Mohamed, 2007, *Modelling Urban Dynamics Using Geographic Information System, Remote Sensing and Urban Growth Models*. Thesis Ph.D. Faculty of Engineering at Cairo University.
- Bairoch, Paul, 1990, *De Jericó a México: Historia de la urbanización*. México: Trillas, 504 p.
- Baptista, Sandra R., 2010, Metropolitan land-change science: A framework for research on tropical and subtropical forest recovery in city-regions, *Land Use Policy*, **27**, 139-147.
- Bazant S., Jan, 2001a, Lineamientos para el ordenamiento territorial de las periferias urbanas de la ciudad de México, *Papeles de Población*, **27**, 223-239.
- Bazant S., Jan, 2001b, *Periferias urbanas: expansión urbana incontrolada de bajos ingresos y su impacto en el medio ambiente*. México: Trillas. 268 p.
- Bazant S., Jan, 2008, Procesos de expansión y consolidación urbana de bajos ingresos en las periferias, *Revista Bitácora Urbano Territorial*, **13**(2): 117-132.
- Bazant S., Jan, 2010, Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana, *Espacio Abierto*, **19**(3), 475-503.
- Bazant, Jan, 2011, Fragmentación urbana y desastre ambiental: ¿puede la planeación urbana regularlos?, *Arquitextos*, São Paulo, 11.132, Vitruvius, en línea: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/11.132/3896>
- Besussi, Elena, Nancy Chin, Michael Batty, y Paul Longley, 2010, The Structure and Form of Urban Settlements, in: T. Rashed and C. Jürgens (eds), *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*, Remote Sensing and Digital Image Processing, **10**, 13-31.

- Bhatta, B., S. Saraswati y D. Bandyopadhyay, 2010, Quantifying the degree-of-freedom, degree-of-sprawl, and degree-of-goodness of urban growth from remote sensing data, *Applied Geography*, **30**, 96-111.
- Bilsborrow, Richard E., y Sabine J.F. Henry, 2012, The use of survey data to study migration-environment relationships in developing countries: alternative approaches to data collection, *Population and Environment*, **34**(1): 113-141.
- Bishop, Y., S. Fienberg, y P. Holland, 1975, Discrete Multivariate Analysis: Theory and Practice, MIT Press, Cambridge, MA. 575 pp.
- Bloomfield, K., 1975, The age and significance of the Tenango Basalt, Central México, *Bulletin of Volcanology*, **37**, 586-595.
- Brujin De, C.A., 1991, Spatial factors in urban growth: towards GIS models for cities in developing countries, *ITC Journal*, **(4)**, 221-231.
- Carr L., David, 2003, Migración rural-rural y deforestación en la Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala. Método de entrevistas, *Tiempos de América*, **10**, 19-27.
- Carr L., David, 2005a, Forest Clearing Among Farm Households in the Maya Biosphere Reserve, *The Professional Geographer*, **57**(2): 157-168.
- Carr L., David, 2005b, Population Dynamics and Tropical Deforestation: State of the Debate and Conceptual Challenges, *Population and Environment*, **27**(1).
- Castelán Crespo, J. Enrique y Adolfo Mejía Ponce de León, 2011, Política ambiental en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, Aguilar, Adrián Guillermo e Irma Escamilla (coords.), *Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades*. México: Cámara de Diputados, LXI Legislatura; UNAM, Instituto de Geografía; CONACYT; Miguel Ángel Porrúa, pp. 253-275.
- Centro Geo, 2004, Funcionalidad. Principales fuerzas de cambio determinantes de los procesos urbanos, en línea: <http://www.centrogeo.org.mx/geocm/GeoTexto/040202.htm>
- Cerdeira Estrada, S., S. Lorenzo Sánchez, A. Areces Mallea y C. Martínez Bayón, 2008, Cartografía de la distribución espacial de los hábitats bentónicos en el Golfo de Batabanó, utilizando imágenes Landsat-7, *Ciencias Marinas*, vol. **34**(2): 213-222.
- Chapin, Stuart F. y Shirley F. Weiss, 1962, Land development patterns and alternatives, Stuart F. Chapin and Shirley F. Weiss, *Urban Growth Dynamics in a Regional Cluster of Cities*, New York, John Wiley and Sons.
- Chávez Galindo, Ana María y Olga V. Serrano Sánchez, 2003, La migración reciente en hogares de la región centro de México, *Papeles de Población*, **36**, 79-108.
- Cheng, Jianquan, 2003, Modelling Spatial and Temporal Urban Growth. Doctoral Dissertation, Faculty of Geographical Sciences. Utrecht University.
- Cohen, J.A., 1960, Coefficient of agreement for nominal scales, *Educational and Psychological Measurement*, **20**, 37-46.
- Comisión Nacional de Derechos Humanos del Distrito Federal (CNDHDF), 2005, Sobre la violación al derecho humano a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado por el deterioro y desaparición del suelo de conservación del Distrito Federal, 104 p.

- Congalton, Russell, y Kass Green, 2009, Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. USA: CRC Press.
- Cotler, H., E. Sotelo, J. Domínguez, M. Zorrilla, S. Cortina y L. Quiñones, 2007, La conservación de suelos, un asunto de interés público, *Gaceta Ecológica*, **83**, 1-67.
- Cruz Rodríguez, María Soledad, 1997, Hallazgos recientes en el estudio de la tenencia de la tierra y el proceso de urbanización, René Coulomb (coord.), *Dinámica urbana y procesos sociopolíticos. Investigaciones recientes sobre la ciudad de México*, vol. 2, México, Observatorio de la ciudad de México, pp. 11-32.
- Cruz Rodríguez, María Soledad, 2001a, El poblamiento popular y la propiedad privada: hacia una redefinición de su relación”, en E. Duhau (coord.), *Espacios metropolitanos*, México, Red Nacional de Investigación Urbana, UAM-Azcapotzalco, pp. 87-122.
- Cruz Rodríguez, María Soledad, 2001b, Propiedad, poblamiento y periferia rural en la ZMCM, México, Red Nacional de Investigación Urbana (RNIU), UAM-Azcapotzalco.
- Cruz R., M.S. y A. Carrillo, 2006, Un ejercicio de planeación y la construcción de nuevos espacios urbanos: el caso de Santa Fe, en M.S. Cruz (coord.), *Espacios metropolitanos 2. Población, Planeación y Políticas de Gobierno*, México, RNIU, UAM-Azcapotzalco.
- Cruz, M.S., y A. Moreno, 2007, El poblamiento tradicional y la reorganización del espacio urbano en el territorio global en la Zona Metropolitana del Valle de México, en: *Banlieues et périphéries des métropoles latino-américaines, L'ordinaire latino-américain*, **207**, 47-68.
- Cruz Rodríguez, María Soledad, 2011, Expansión urbana en Suelo de Conservación y propiedad de la tierra en el Distrito Federal, Pérez, Enrique, María Perevochtchikova y Sophie Ávila (coords), *Suelo de Conservación del Distrito Federal ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* México, IPN-Miguel Ángel Porrúa, pp. 65-91.
- Cusimano, M.D., M. Chipman, R.H. Glazier, C. Rinner, y S.P. Marshall, 2007, Geomatics in injury prevention: the science the potential and the limitations, *Injury Prevention*, **13**, 51-56.
- Deininger, Klaus y Bart Minten, 2002, Determinants of Deforestation and the Economics of Protection: An Application to Mexico, *American Journal of Agricultural Economics*, **84**(4): 943-960.
- De Tomás, Alberto, Francisco Javier Salas, Cesar Santos, Antonio Garzón y Victoriano Moreno, 2010, Estimación del sellado del suelo mediante técnicas de Análisis Espectral, *Serie Geográfica*, **16**, 81-92.
- Donnay, J.P, M.J. Barnsley y P.A. Longley, 2001, Remote sensing and urban analysis, *Remote sensing and urban analysis*, Donnay, J.P., Barnsley, M.J. and P.A. Longley (eds.). Taylor and Francis, London and New York, pp. 3-18.
- Esquivel Hernández, María Teresa, 2006, Dinámica demográfica y espacial de la Zona Metropolitana del Valle de México, Cruz, S, *Espacios Metropolitanos 2*, pp. 15-46.
- Ewing, R., 1997, Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable? *Journal of the American Planning Association*, **63**(1): 107-126.
- Ezcurra, E., M. Mazari-Hiriart, I. Pisanty y A.G. Aguilar, 2006, *La Cuenca de México. Aspectos ambientales críticos y sustentabilidad*. Fondo de Cultura Económica, México.

- Fearnside, Philip M., 2005, Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates, and Consequences, *Conservation Biology*, **19**(3), 680-688.
- Feng, Li, 2009, Applying remote sensing and GIS on monitoring and measuring urban sprawl. A case study of China, *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, **4**, 47-56.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1996, Forest Resources Assessment 1990: Survey of Tropical Forest Cover and Study of Change Processes. FAO Forestry Paper 130, Rome.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2011, Situación de los Bosques del Mundo 2011. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Freitas, R. Simone; Tood J. Hawbaker y Jean Paul Metzger, 2010, Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest, *Forest Ecology and Management*, **259**, 410-417.
- Foody, G.M., 2002, Status of land cover classification accuracy assessment, *Remote Sensing of Environment*, **80**, 185-201.
- Galster, G., R. Hanson, H. Wolman y S. Coleman, 2001, Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept, *Housing Policy Debate*, **12**: 681-717.
- Geist, H., W.McConnell, E. Lambin, E. Moran, D. Alves y T. Rudel, 2006, Causes and trajectories of land use/cover change, en Lambin, E. F. and H. Geist (eds.), *Land-use and Land-change, Local processes and global impacts*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 41-70.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF), 2006. www.df.gob.mx/delegaciones/tlalpan/index.html
- Geosystems 2004b, Enhancement # 1. http://www.geosystems.de/atcor/downloads/ATCOR2_V87_Enhancement1.pdf (accessed 15 Apr. 2005).
- Gibson P.J. y C.H. Power, 2000, *Introductory Remote Sensing – Digital image processing and applications*. Taylor & Francis.
- Giraldo, J.D. y S. García, 2009, Modelo de análisis de subpíxeles aplicado a la cartografía de inundaciones en zonas de llanura, *XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, 569-572.
- González-Morán, T., R. Rodríguez y S.A. Cortés, 1999, The basin of Mexico and its metropolitan area: water abstraction and related environmental problems, *Journal of South American Earth Sciences*, **12**, 607-613.
- González Pozo, Alberto, 2011, Las chinampas de Xochimilco: periferia ancestral en peligro, Aguilar, Adrián Guillermo e Irma Escamilla (coords.), *Periferia Urbana: deterioro ambiental y reestructuración metropolitana*. México, UNAM, Instituto de Geografía, Miguel Ángel Porrúa, pp. 273-289.
- Gordon, P., y H. W. Richardson, 1997, *Are compact Cities a Desirable Planning goal?* Journal of the American planning Association.
- Gruninger, John, Jamine Lee y Robert Sundberg, 2002, Application of Convex Cone Analysis to hyper-spectral and multi-spectral scenes, *Society of Photo-Optical Instrumentation*

Engineers, Proceeding, 9th International Symposium on Remote Sensing, September, Volume 4885-25.

- Guttman Sterimberg, E., C. Zorro, A. Cuervo y J.C. Ramírez, 2004, Diseño de un sistema de indicadores socio ambientales para el Distrito Capital de Bogotá, *Series Estudios y Perspectivas*, **3**, CEPAL.
- Herold, M., N.C. Goldstein y K.C. Clarke, 2003, The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling, *Remote Sensing of Environment*, **86**, 286-302.
- Howard, J.A., 1991, *Remote sensing of forest resources: theory and application*, Chapman & Hall, London.
- Ibarra, Valentín, 2000, Delegación Tláhuac, Garza, Gustavo, (coord.), *La ciudad de México en el fin del segundo milenio*, Gobierno del Distrito Federal/El Colegio de México, México, pp. 616-622.
- Ímaz Gispert, Mireya, Rosalía Camacho Lomelí y Ernesto Ruiz Gutiérrez, 2011, Política pública ambiental en la ciudad de México. Suelo de Conservación: una ruta ambientalmente incorrecta, Pérez, Enrique, María Perevochtchikova y Sophie Ávila (coords), *Suelo de Conservación del Distrito Federal ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* México, IPN-Miguel Ángel Porrúa, pp. 39-52.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), 2004, Atracción migratoria reciente. *Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial*. México DF: UNAM; SEDESOL, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, INE. p.71.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) e Instituto de Geografía (IG), 2006, Urbanización periférica y deterioro ambiental en la ciudad de México: el caso de la delegación Tlalpan en el Distrito Federal, Informe técnico del proyecto. UNAM, INE. 33 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1984, *Carta edafológica y de uso de suelo y tipos de vegetación de Milpa Alta (E14-A49) y Amecameca (E14-B41)* a escala 1:50 000, México, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1991, XI Censo General de Población y Vivienda 1990, Distrito Federal, Aguascalientes, Ags., México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2000, *Regiones Socioeconómicas de México*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2001, XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Distrito Federal, Aguascalientes, Ags., México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2010, *Banco de Información Económica/PIB por entidad federativa*, www.inegi.org.mx.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2010, XIII Censo General de Población y Vivienda, Distrito Federal, Aguascalientes, Ags., México.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2010, Principales resultados del Censo de Población y Vivienda, Distrito Federal, México, 96 p.
- Izazola, Haydea, Carolina Martínez and Catherine Marquette, 1998, Environmental perceptions, social class and demographic change in Mexico City: a comparative approach, *Environment and Urbanization*, **10**(1), 107-118.

- Izazola, Haydea, 2004, Migration to and from Mexico city, 1995-2000, in: *Environment & Urbanization*, **16**(1): 211-230.
- Jensen, J.R, y D.C. Cowen, 1999, Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **65**, 611-622.
- Jha, S. y Kamaljit S. Bawa, 2006, Population Growth, Human Development, and Deforestation in Biodiversity Hotspots, *Conservation Biology*, **20**(3), 906-912.
- Juárez, Víctor Manuel, 2003, Condiciones de la vivienda en la zona metropolitana del Valle de México en el año 2000, *Scripta Nova*, **146**(040).
- Kaimowitz, David, Neil Byron y William Sunderlin, 1998, Public policies to reduce inappropriate tropical deforestation, Lutz, E., Binswanger, H., Hazell, P., Mc Calla, A. (eds.). *Agriculture and the environment: perspectives on sustainable rural development*, pp. 303-322. Washington, DC, USA, World Bank.
- Klepeis, Peter, 2003, Development policies and tropical deforestation in the southern Yucatán Peninsula: Centralized and decentralized approaches, *Land Degradation & Development*, **14**, 541-561.
- Krellenberg, Kerstin, René Höfer y Juliane Welz, 2011, Dinámicas recientes y relaciones entre las estructuras urbanas y socioeconómicas en Santiago de Chile: el caso de Peñalolén, en: *Revista de Geografía Norte Grande*, **48**, 107-131.
- Lambin, E. F; H. J. Geist y E. Lepers, 2003, Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions, *Ann. Rev. Environ. Resor.* **28**, 205-241.
- Lambin E.F. y H. Geist, 2006, Land-Use and Land-Cover Change. Local Processes and Global Impacts, Global Change-The IGBP Series, Springer-Berlin Heidelberg New York, p. 222.
- Landis, J.R. y G.G. Koch, 1977, The measurement of observer agreement for categorical data, *Biometrics*, **33**, 159-174.
- Lee, H., J.L. Carr y A. Lankerani, 1995, Human disturbance and natural habitat: a biome level analysis of global data set, *Biodiversity and Conservation*, **4**: 128-155.
- Levi Levi, Silvana, 2006, Geografía Humana y Geomática, *Boletín Goiano de Geografia*. **26**, 11-29.
- Lindón Villoria, Alicia, 1997, De la expansión urbana a la periferia metropolitana, *Documentos de Investigación*, **4**, 1-22.
- Lockhart, James, 1992, *The Nahuas after the conquest*, Stanford, California: Stanford University Press.
- López Vázquez, Víctor y W. Plata Rocha, 2009, Análisis de los cambios de cobertura de suelos derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la ciudad de México, 1990-2000, *Investigaciones Geográficas*, **68**, 85-101.
- López Vega, Rafael, 2007, Medición de la migración con especial referencia a la fuente de datos censal: la medición de la migración en los Censos de Población y Vivienda en México, en: *Taller Nacional sobre migración interna y desarrollo en México: diagnóstico, perspectivas y políticas*, CEPAL-CELADE, México.

- López, Flor M., 2011, Urbanización en la periferia sur del Distrito Federal. Cobertura de agua en la delegación Tláhuac, Aguilar, Adrián Guillermo e Irma Escamilla (coords.), *Periferia Urbana: deterioro ambiental y reestructuración metropolitana*. México, UNAM, Instituto de Geografía, Miguel Ángel Porrúa, pp. 161-193.
- Lu, Dengsheng y Qihao Weng, 2004, Spectral Mixture Analysis of the Urban Landscape in Indianapolis with Landsat ETM+ Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **70**(9): 1053-1062.
- Martin, P. A., 1980, *Vulcanología de la Sierra Chichinautzin*, Tesis de Maestría, México, Facultad de Ciencias, UNAM, 131 pp.
- Martínez Rivera, Sergio Efrén y Rafael Monroy Ortiz, 2009, La expansión urbana sobre el campo mexicano. La otra cara de la crisis agrícola, *Revista Estudios Agrarios*, **43**, 29-46.
- Masek, J.G., F.E. Lindsay y S.N. Goward, 2000, Dynamics of urban growth in the Washington DC metropolitan area, 1973-1996, from Landsat observations, *International Journal Remote Sensing*, **21**(18): 3473-3486.
- Mejía, Iván y Octavio Mojarro, 2005, Efecto de los cambios en la estructura por edades de la población sobre el ahorro y la inversión en México, Zúñiga Herrera, Elena (coord.), *México, ante los desafíos de desarrollo del milenio*. Consejo Nacional de Población. México, págs. 79-98.
- Meyerson F. A. B.; L. Merino y J. Durand, 2007, Migration and Environment in the Context of Globalization, *Frontiers in Ecology and the Environment*, Vol. **5**(4), 182-190.
- Miranda, F., y E. Hernández X., 1963, Los tipos de vegetación de México y su clasificación, *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **29**, 29-179.
- Mollá Ruíz-Gómez, Manuel, 2006, El crecimiento de los asentamientos irregulares en áreas protegidas. La delegación Tlalpan, *Investigaciones Geográficas*, **60**: 83-109.
- Monroy, O., H. Rangel, M. Aranda, A. Velázquez y F. Romero. 1999, Los mamíferos de hábitat templados del sur de la Cuenca de México, Velázquez, A., y F. Romero (coords.), *Biodiversidad de la región de montaña del sur de la cuenca de México*, UAM-SEMARNAP-Gobierno del DF, pp.142-159.
- Morett Sánchez, Jesus C., 1992, *Alternativas de modernización del Ejido*, Instituto de Proposiciones Estratégicas, A.C., segunda edición, México, DF.
- Muñoz Villers, L., y J. López Blanco, 2008, Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-easter Mexico, *International Journal of Remote Sensing*, **29**(1): 71-93.
- Myers, N., 1996, Environmental services of biodiversity, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **93**, 2764-2769.
- Neubert, M. y G. Meinel, G., 2005, Atmospheric and terrain correction of IKONOS imagery using ATCOR3, – Heipke, C.; Jacobsen, K. & Gerke M. (Eds.): ISPRS Hannover Workshop 2005: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, 17, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXVI, Part I/W3 (CD-Rom), Hannover, Germany, 6 p.
- O'Connor, K. F., F. B. Overmars, y M. M. Ralston, 1990, *Land Evaluation for Nature Conservation*, Caxton Press Ltd, Wellington, New Zealand, 328 p.

- Ochoa, T.M., 2009, *Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en México: implementación y funcionamiento*, Magister Thesis, Urban-environmental Area, México, El Colegio de México.
- Oliveras de Ita, Adán, y Héctor Gómez de Silva G., 2002, Nueva localidad para el Gorrión Serrano (*Xenospiza baileyi*), *Ornitología Neotropical*, **13**, 203-204.
- Ottensmann, J. R., 1977, *Urban Sprawl, Land Values and the Density of Development*, *Land Economics*, **53**(4): 389-400.
- Pacheco, Carlos, Inmaculada Aguado y Danilo Mollicone, 2011, Las causas de la deforestación en Venezuela: Un estudio retrospectivo, *BioLlania*, **10**, 281-292.
- Palma Galván, Fernando, 1992, El problema habitacional. El Distrito Federal, un caso particular, *Revista de Administración Pública*, **83**, 109-113.
- Perevochtchikova, M., 2011, Programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos en México, Pérez, Enrique, María Perevochtchikova y Sophie Ávila (coords), *Suelo de Conservación del Distrito Federal ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* México, IPN-Miguel Ángel Porrúa, pp. 175-202.
- Pérez Campuzano, Enrique, 2006, Reestructuración urbano regional y nuevos derroteros de la migración en la región centro de México. El caso de la ZMCM, *Estudios Demográficos y Urbanos*, **21**(2), 331-367.
- Pérez Campuzano, Enrique y Clemencia Santos Cerquera, 2008, Urbanización y Migración entre ciudades, 1995-2000. Un análisis multinivel, *Papeles de Población*, **56**, 173-214.
- Pijanowskia, B.C., D.G. Brown, B.A. Shellitoc, B.A., y G.A. Manikd, 2002, Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model, *Computers, Environment and Urban Systems*, **26**(6), 553-575.
- Plaza, A., P. Martínez, J. Plaza, R.M. Pérez, P.L. Aguilar y M.C. Cantero, 2004, Algoritmos de extracción de endmembers en imágenes hiperespectrales, *Revista de teledetección*, **21**, 101-105.
- Pontius, R.G. Jr., E. Shusas y M. McEachern, 2004, Detecting important categorical land changes while accounting for persistence, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **101**, 251-268.
- Presutti, Miriam E., 2002, Evaluación de errores en modelos digitales de elevación (DEM) generados mediante diferentes técnicas de interpolación, X Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, SELPER, Cochabamba, Bolivia.
- Presutti, Miriam E., 2009, Comparación de un DEM generado a partir de curvas de nivel con el DEM-SRTM para estimar la altura de plantaciones forestales, Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, 2943-2950.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), 2002, *Condiciones Geográficas de la Zona Metropolitana de la ciudad de México*, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. www.paot.org.mx.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), 2003, Asentamientos irregulares en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, Documento de Trabajo, México, DF, 19 pp.

- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), 2005, *Elementos para una gestión adecuada del Suelo de Conservación del Distrito Federal*, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial, en línea: <http://www.paot.org.mx/centro/temas/suelo/docpaot/refsc.pdf>
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT), 2010, Estudio sobre la zona de transición entre suelo urbano y suelo de conservación en el Distrito Federal. Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial.
- Ricketts, T.H., E. Dinerstein, D.M. Olson y C.J. Loucks, 1999, *Terrestrial Ecoregions of North America. A Conservation Assessment*, Washington D.C.: Island Press. 485 pp.
- Rodríguez Gamiño, M.L., 2008, *Determinación y aplicación de indicadores ambientales en Milpa Alta, Distrito Federal*, Tesis de Doctorado en Geografía, México, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 168 p.
- Rodríguez Gamiño, María de Lourdes, Jorge López Blanco y Gilberto Vela Correa, 2011, Crecimiento urbano y deterioro ambiental en el Suelo de Conservación del Distrito Federal, en Aguilar y Escamilla (coordinadores), *Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades*. Instituto de Geografía-UNAM, CONACYT, Miguel Ángel Porrúa.
- Rubalcava, Rosa María y Martha Schteingart, 2000, Segregación urbana en el Área Metropolitana de la ciudad de México, Gustavo Garza (coord.), *La ciudad de México en el fin del segundo milenio*, El Colegio de México-Gobierno del Distrito Federal.
- Ruiz, Ernesto, 2011, Doce años en el Suelo de Conservación. Una mirada desde el enfoque de la política pública, Pérez, Enrique, María Perevochtchikova y Sophie Ávila (coords), *Suelo de Conservación del Distrito Federal ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* México, IPN-Miguel Ángel Porrúa, pp. 53-63.
- Rzedowski, J., 1978, *Vegetación de México*. México: Limusa.
- Rzedowski, J., 2006, *Vegetación de México*. 1ra. Edición digital, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 504 p.
- San Miguel Villegas, Ruth Trinidad, 2010, *La expansión urbana en Suelo de Conservación en la Delegación Tláhuac, D.F. México*, Tesis de Maestría en Población y Desarrollo, FLACSO-México. México. 175 p.
- Santos, C. y L. Guarneros, 2004, Monitoreo por imágenes de satélite de la expansión metropolitana de la ciudad de México, en Aguilar (coordinador), *Procesos metropolitanos y grandes ciudades. Dinámica reciente en México y otros países*. Instituto de Geografía-UNAM, CONACYT, Miguel Ángel Porrúa.
- Santos, C. y L. Guarneros, 2006, La expansión metropolitana en las áreas naturales protegidas y el suelo de conservación. Un análisis a partir de imágenes de satélite, en Aguilar (coordinador), *Las grandes aglomeraciones metropolitanas y su periferia regional. Experiencias en Latinoamérica y España*. Editorial Miguel Ángel Porrúa.
- Schteingart, Martha, 1989, Los productores del espacio habitable. Estado, empresa y sociedad en la Ciudad de México, México, El Colegio de México.
- Schteingart, Martha, 2001, La división social del espacio en las ciudades, *Perfiles Latinoamericanos*, **19**, 13-31.
- Schteingart, M. y C. Salazar, 2003, Expansión Urbana, Protección Ambiental y Actores Sociales en la ciudad de México, *Estudios Demográficos y Urbanos*, **54**, 433-460.

- Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), 2012, *Distrito Federal en el contexto laboral nacional*, Subsecretaría de Empleo y Productividad Laboral, Información Laboral, Diciembre, www.stps.gob.mx.
- Seto, K., C. Woodcock, C. Song, X. Huang, J. Lus y R. Kaufmann, 2002, Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM, *International Journal of Remote Sensing*, **23**(10), 1985-2004.
- Sheinbaum Pardo, Claudia, 2008, *Problemática ambiental de la ciudad de México*, México, Limusa.
- Sheinbaum Pardo, Claudia, 2011, La compleja problemática del Suelo de Conservación del Distrito Federal: apuntes para su conservación, Pérez, Enrique, María Perevochtchikova y Sophie Ávila (coords), *Suelo de Conservación del Distrito Federal ¿hacia una gestión y manejo sustentable?* México, IPN-Miguel Ángel Porrúa, pp. 13-38.
- Silván Cárdenas, José Luis y Víctor Hugo Aquino Illescas, 2013, Urbanización y Deforestación. Una vista desde el espacio, *Ciencia y Desarrollo*, en revisión.
- Silván Cárdenas, José Luis y L. Wang, 2013, On quantifying post-classification subpixel change, *International Journal of Remote Sensing*, en revision.
- Soffianian, A., M. Ahmadi Nadoushan, L. Yaghmaei y S. Falahatkar, 2010, Mapping and Analyzing Urban Expansion Using Remotely Sensed Imagery in Isfahan, Iran, *World Applied Sciences Journal*, **9**(12): 1370-1378.
- Sriwongsitanon, N., Surakit, K., Thianpopirug, S., 2011, Influence of atmospheric correction and number of sampling points on the accuracy of water clarity assessment using remote sensing application, *Journal of Hydrology*, **401**, 203-220.
- Strahler, A.H., 1980, The Use of Prior Probabilities in Maximum Likelihood Classification of Remotely Sensed Data, *Remote Sensing of Environment*, **10**:135-165.
- Suarez, Manuel y Javier Delgado, 2007, La expansión urbana probable de la ciudad de México. Un escenario pesimista y dos alternativos para el año 2020, *Estudios Demográficos y Urbanos*, **22**(1):101-142.
- Tapia, Estrella, y Ricardo Reyes, 2008, Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable, *Madera y Bosques*, **14**(3), 95-112.
- Taylor, Peter Leigh, 2010, Conservation, community, and culture? New organizational challenges of community forest concessions in the Maya Biosphere Reserve of Guatemala, *Journal of Rural Studies*, **26**, 173-184.
- Taylor, Peter Leigh; Peter Cronkleton y Deborah Barry, 2010, learning in the field: Using Community Self Studies to Strengthen Forest-Based Social Movements, *Sustainable Development*, published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/sd.498.
- Turner, M.G., R.H. Gardner y R.V. O'Neill, 1995, Ecological dynamics at broad scales; ecosystems and landscapes, *BioScience Special Supplement*, **45**(6): 29-33.
- UNFCCC, 2001, COP-7: The Marrakech accords. (Bonn, Germany: UNFCCC Secretariat). Recuperado a partir de <http://www.unfccc.int>.

- United Nations, 1998, Recommendations on statistics of international migration: Revision 1. *Statistical papers series M*, No. 58, Rev. 1. New York: Statistics Division, Department of Economic and Social Affairs.
- United Nations, 2008, *World Urbanization Prospects: The 2007 Revision*. (CD-ROM edition), data in digital form (POP/DB/WUP/Rev.2007).
- United Nations, 2009a, *World Population Prospects: The 2008 Revision*, New York (Extended Dataset on CD-ROM, ST/ESA/SER.A/283, Sales No. 09.XII.6).
- United Nations, 2011, *Population distribution, urbanization, internal migration and development: an international perspective*. New York: ONU.
- United Nations Centre for Human Settlements (UNCHS), 2001b, *State of the World's Cities 2001*, Nairobi, Habitat.
- Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), 2008, Estudio sobre la situación de las Áreas Verdes, Barrancas y zonas de transición entre el suelo urbano y el suelo de conservación.
- Vajpeyi, D. K., 2001, *Deforestation, Environment and Sustainable Development: A comparative analysis*. Westport, Conn., USA: Praeger Publishers. 259 p.
- Vallecillo, R. S., 2009, Los cambios en el paisaje y su efecto sobre la distribución de las especies: modelización y aplicación a la conservación de las aves de hábitats abiertos en paisajes mediterráneos. Tesis de Doctorado. Universidad de Lleida.
- Varo Berra, Rosario, 2002, *La reforma agraria en México desde 1853: sus tres ciclos legales*, Universidad de Guadalajara – UCLA, Program on Mexico – PROFMEX – Juan Pablos Editor, Guadalajara, Los Ángeles, México, p. 398.
- Velázquez, A., y F. Romero (comps.) 1999, *Biodiversidad de la Región de Montaña del Sur de la Cuenca de México*, México: UAM/SMA/GDF.
- Velázquez, Alejandro y Francisco J. Romero, 1999, Biodiversidad de la Región de la Montaña del Sur de la Cuenca de México, UAM, SMA-Gobierno del DF, México, p. 242.
- Verhoeve, J. y R.D. Wulf, 2000, Sub-pixel mapping of Sahelian Wetlands using multi-temporal SPOT vegetation images, *Proc, Vegetation*.
- Vieyra, Antonio, 2011, Proyectos productivos y expansión urbana en el Suelo de Conservación del sur del Distrito Federal, Aguilar, Adrián Guillermo e Irma Escamilla (coords.), *Periferia Urbana: deterioro ambiental y reestructuración metropolitana*. México, UNAM, Instituto de Geografía, Miguel Ángel Porrúa, pp. 73-96.
- Walker, R.T., 2003, Mapping process to pattern in the landscape change of the Amazonian frontier. *Annals of the Association of American Geographers* **93**, 376-398.
- World Urbanization Prospects, 2009, *The 2009 Revision Population*, (http://esa.un.org/unpd/wup/Documents/WUP2009_Highlights_Final.pdf).

- Yakoub, N.G.R., 2005, *Using Remote Sensing to Detect Changes of Land Use in Egypt for the Last Three Decades*, Arabmap2005 conference, Cairo, Egypt.
- Yang, Xiaojun, 2002, Satellite monitoring of urban spatial growth in the Atlanta metropolitan area, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, **68**, 725-734.
- Yang, Xiaojun y C.P. Lo, 2003, Modelling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area, *International Journal of Geographical Information Science*, **17**(5): 463-488.
- Zárate, Alvan O., 1967, Fertility in urban areas of Mexico: Implications for the theory of the demographic transition, *Demography*, **4**(1), 363-373.

Instituciones consultadas:

CONAPO Consejo Nacional de Población

CORENA Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría del Medio Ambiente (SMA)

CONAGUA Comisión Nacional del Agua

CONABIO Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

INEGI Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática

STPS Secretaría del Trabajo y Previsión Social

INE Instituto Nacional de Ecología