



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**Análisis con Sistemas de Información
Geográfica del crecimiento urbano y el uso del
suelo en los municipios de Coacalco, Tultepec y
Tultitlán, Estado de México en el periodo 1994-
2017**

TESIS

Que para obtener el título de
Licenciado en Geografía

P R E S E N T A

Jorge Antonio Chávez Asbel

DIRECTOR DE TESIS

Mtro. Jaime Morales



Facultad de Filosofía y Letras

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis está dedicada a la memoria de mi abuelo Jorge Asbell Moreno, quién me animó a seguir una carrera profesional y, que junto a mi abuela María de Jesús Téllez Rojas aún con vida, facilitaron mi educación compartiendo su hogar conmigo y con mi hermano. La fuerza y dedicación de mis abuelos me dieron una mejor apreciación del significado y la importancia de la familia e inculcándome los valores esenciales que me ayudan a ser una mejor persona.

A mi madre América Asbel, por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. Asimismo, agradezco infinitamente a mis hermanos Diego, Julio y Emmanuel que con sus palabras me hacían sentir orgulloso de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Ojala algún día yo me convierta en un ejemplo para que puedan seguir avanzando en su camino. A mi padrastro Ernesto Rendón por enseñarme el gran valor del trabajo, y a mi tío Alejandro por ser como un hermano mayor.

A mi director de tesis Maestro Jaime Morales quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la realización de esta investigación. A los profesores que me vieron crecer como estudiante, y que gracias a sus conocimientos hoy puedo sentirme dichoso y contento. A mis sinodales Mtra. Edith Ugalde, Lic. Martha Pérez, Lic. Mario Casasola y Dr. Masanori Murata por su valioso apoyo y asesoría en este proceso.

A mis amigos por apoyarme en los momentos difíciles, y gracias a sus consejos me permitieron seguir con empeño y dedicación mis estudios, y a todos quienes contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito la meta propuesta. Especial mención a mi gran amigo y colega Ing. Miguel Luna Fuentes quien me apoyó durante mi servicio social además de guiarme profesionalmente.

A mi hermosos y gran país México que me doto de una educación gratuita y de la mejor calidad posible, resaltando a mi alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México que me dio la dicha de estudiar esta hermosa carrera. Finalmente al pueblo mexicano que con su esfuerzo contribuyo en mi educación, lo que me obliga a retribuirle con trabajo ético y de calidad para mejorar nuestro entorno.

Índice

Introducción	1
Problema	4
Objetivos	4
Objetivo General	4
Objetivos particulares	4
Hipótesis	4
Capítulo 1. Definición Conceptual Utilizada	5
1.1 Crecimiento urbano	5
1.1.1 Ciudad y crecimiento urbano.....	5
1.1.2 Elementos del paisaje urbano	8
1.1.3 Formas y causas del crecimiento urbano	10
1.1.4 El crecimiento urbano en la Ciudad de México.....	13
1.2 Uso del suelo	17
1.2.1 El suelo y el uso del suelo	17
1.2.2 Determinantes y condicionantes del uso del suelo	19
1.2.3 Clasificación e información de uso del suelo	23
1.3 Sistemas de Información Geográfica	26
1.3.1 Definición de un SIG	26
1.3.2 Componentes y funciones de un SIG	28
1.3.3 Aplicaciones de un SIG	31
1.3.4 La geografía y los SIG	33
Capítulo 2. Características Geográficas del Área de Estudio	34
2.1 Municipio de Coacalco	35
2.1.1 Localización	35
2.1.2 Orografía.....	35
2.1.3 Hidrología.....	36
2.1.4 Clima.....	36
2.1.5 Edafología.....	36
2.1.6 Vegetación y Fauna	37
2.1.7 Población	37
2.1.8 Economía.....	37
2.2 Municipio de Tultepec	38
2.2.1 Localización	38

2.2.2 Orografía.....	38
2.2.3 Hidrología.....	38
2.2.4 Clima.....	39
2.2.5 Edafología.....	39
2.2.6 Vegetación y fauna	39
2.2.7 Población	39
2.2.8 Economía.....	40
2.3 Municipio de Tultitlán	40
2.3.1 Localización	40
2.3.2 Orografía.....	40
2.3.3 Hidrología.....	41
2.3.4 Clima.....	41
2.3.5 Edafología.....	41
2.3.6 Vegetación y fauna	42
2.3.7 Población	42
2.3.8 Economía.....	42
Capítulo 3. Materiales y Métodos Empleados	49
3.1 Procesamiento de las Imágenes.....	49
3.1.1 Características de la ortofoto digital	50
3.1.2 Homologación geográfica de ortofotos	52
3.1.3 Generación del mosaico y recorte de ortofotos	52
3.1.4 Características de la imagen de satélite	53
3.1.5 Composición de Bandas	55
3.1.6 Procesamiento	56
3.2 Clasificación de las imágenes	61
3.2.1 Clasificación supervisada.....	61
3.2.2 Análisis multitemporal post-clasificadorio	63
Capítulo 4. Análisis, Resultados y Conclusiones	64
4.1 Campos de Entrenamiento	64
4.2 Clasificación de Imágenes	66
4.2.1 Clasificación de la imagen del año 1994	67
4.2.2 Clasificación de la imagen del año 2007	68
4.2.3 Clasificación de la imagen del año 2017	69
4.3 Análisis de los años de estudio.....	70

4.3.1 Año 1994	70
4.3.2 Año 2007	71
4.3.3 Año 2017	71
Conclusión	75
Fuentes Consultadas.....	77

Índice de figuras, tablas y mapas

Figuras

Figura 1. Vista aérea de parte de la zona de estudio desde la Sierra de Guadalupe.	5
Figura 2. Formas de la trama urbana (de izquierda a derecha ortogonal, radiocéntrica, lineal e irregular). Fuente: Google Earth.....	9
Figura 3. Formas de crecimiento urbano (de izquierda a derecha ensanche, hilera, ciudad jardín, polígonos, marginal e irrecuperable). Fuente Google Earth.....	12
Figura 4. Ejemplos de enfoque físico (izquierda) y enfoque social (derecha) del suelo.	18
Figura 5. Determinantes y condicionantes del uso del suelo.	20
Figura 6. Diagrama de desarrollo del suelo. Fuente: Atlas de suelo de Guadalajara.....	24
Figura 7. Ocupación del suelo metropolitano según usos principales. Tomado de Roma, 1998.	25
Figura 8. Formatos Ráster y Vectorial dentro de un SIG.	27
Figura 9. Ejemplificación de la Percepción Remota.	49
Figura 10. Ortofoto digital escala 1:20,000. Fuente: INEGI.	51
Figura 11. Imagen de satélite escala 1:300,000. Fuente: USGS.	55
Figura 12. Avenida José López Portillo en el municipio de Coacalco.	64
Figura 13. Muestra del tipo de suelo Agrícola en la zona de estudio.....	65
Figura 14. Muestra del usos de suelo Árbol, arbusto y/o hierba en la zona de estudio.....	65
Figura 15. Muestra de uso de suelo Urbano en la zona de estudio.....	66
Figura 16. Porcentaje de uso de suelo en la zona de estudio para el año 1994.....	70
Figura 17. Porcentaje de uso de suelo en la zona de estudio para el año 2007.....	71
Figura 18. Porcentaje de uso de suelo en la zona de estudio para el año 2017.....	72

Tablas

Tabla 1. Elementos definatorios de la morfología urbana. Tomado de Roma, 1998.....	9
Tabla 2. Características generales de las ortofotos digitales utilizadas en el estudio.....	53
Tabla 3. Características generales de la imagen de satélite utilizada en el estudio (IGAC, 2013).	54
Tabla 4. Combinación de bandas más comunes para Landsat 8.	56
Tabla 5. Características generales de los datos vectoriales utilizados en el estudio.	56
Tabla 6. Coordenadas extremas del área de estudio en UTM (ITRF 92, GRS 80).	57
Tabla 7. Clasificación de uso del suelo utilizada en el estudio.	62
Tabla 8. Relación entre clases de información y clases espectrales.	62
Tabla 9. Uso de suelo en la zona de estudio para el año 1994.	70
Tabla 10. Uso de suelo en la zona de estudio para el año 2007.	71
Tabla 11. Uso de suelo en la zona de estudio para el año 2017.	72
Tabla 12. Comparativa de cambios de los usos de suelo entre los años 1994, 2007 y 2017. ...	74

Mapas

Mapa 1. Crecimiento de la zona metropolitana de la ciudad de México. Evolución municipal 1950-2010.....	14
Mapa 2. Vista satelital de la zona de estudio en el año 2017.	34
Mapa 3. Ubicación de los municipios de Coacalco, Tultepec y Tultitlán.	43
Mapa 4. Orografía de los municipios de Coacalco, Tultepec y Tultitlán.....	44
Mapa 5. Hidrología de los municipios de Coacalco, Tultepec y Tultitlán.....	45
Mapa 6. Clima de los municipios Coacalco, Tultepec y Tultitlán.	46
Mapa 7. Edafología de los municipios Coacalco, Tultepec y Tultitlán.....	47
Mapa 8. Vegetación y fauna de los municipios Coacalco, Tultepec y Tultitlán.	48
Mapa 9. Zona de estudio para el año 1994.	58
Mapa 10. . Zona de estudio para el año 2007.	59
Mapa 11. Zona de estudio para el año 2017.	60
Mapa 12. Clasificación supervisada de la Zona de estudio en el año 1994.....	67
Mapa 13. Clasificación supervisada de la Zona de estudio en el año 2007.....	68
Mapa 14. Clasificación supervisada de la Zona de estudio en el año 2017.....	69
Mapa 15. Comparativa de mapas de Uso de Suelo del área de estudio para los años 1994, 2007 y 2017.	73

Introducción

Hacia 1950 la dimensión metropolitana de la Ciudad de México propiamente dicha, apenas surgía, los límites de la ciudad eran los mismos que los del Distrito Federal y, por ende, tenían la misma población: 1.7 millones de habitantes, además de que algunos miles todavía “no urbanizados”, caso los mismos que habitaban el Estado de México.

Sin embargo, a partir de los años ochenta, la Ciudad de México se ha convertido en una nebulosa sin límites precisos que, probablemente, rebase ya los 20 millones de habitantes, sin que ninguna autoridad se preocupe por establecer de forma precisa los municipios de nueva incorporación, no acordar formas eficaces de coordinación administrativa entre esos municipios y los estados involucrados (Delgado, 2008).

A partir de dicha década, el área urbana del Estado de México (específicamente la cercana a la Ciudad de México) ha crecido y se ha transformado de manera muy acelerada, trayendo consigo la construcción masiva de viviendas, infraestructura, vías de comunicación y equipamiento urbano, alterando así constantemente el territorio y dándole nuevas configuraciones que requieren ser representadas para poder realizar diversos estudios sobre ella (Aguilar, 2004).

La cercanía de la Ciudad de México (CDMX) y los procesos que en ella tienen lugar imponen una fuerte presión al suelo rural y de conservación. En este espacio convergen distintos actores sociales y económicos, lo que genera condiciones muy específicas que posibilitan los cambios de uso del suelo y por tanto la pérdida de superficies importantes con recursos naturales vitales para la CDMX y su zona metropolitana. Podemos identificar dos factores primarios:

- La urbanización de la CDMX que se ha realizado en forma acelerada: esta urbanización está determinada, entre otros factores, por la escasez de suelo accesible para vivienda de interés social y por el alto costo que significa acceder a la renta o adquisición de una vivienda; y
- La renta agropecuaria se encuentra por debajo de la renta urbana: es decir el propietario del predio ubicado en el suelo rural o de conservación obtiene un mayor beneficio económico al fraccionar y vender los lotes, en comparación con los bajos ingresos que generalmente se logran a través de las actividades agropecuarias o forestales de subsistencia.

Adicional a los factores primarios existen una serie de factores secundarios que coadyuvan al proceso de pérdida del suelo. Este grupo se vincula con la administración pública y se divide en cinco categorías: técnicos (falta de recursos para desarrollar

estudios territoriales); institucionales (desorden entre autoridades); administrativos (falta de ejecución de leyes, demoliciones, multas, etcétera); jurídico-penales (deficiencias en los tipos penales); y culturales (la propagación de la corrupción) (Aguilar y Escamilla, 2011).

La importancia de estudiar los municipios de Coacalco, Tultepec y Tultitlan, es debido a su cercanía con la CDMX ya que se han sido alcanzados por el crecimiento metropolitano y pasado de ser espacios con ambientes históricamente rurales a territorios urbanizados, acarreando diversas situaciones que se deben de afrontar. En teoría en estos municipios predominan los usos habitacionales y que fundamentalmente son lugares de residencia.

El aumento desmedido en la población y la mala planificación territorial han influenciado en la expansión de los asentamientos urbanos nativos, que incluso ha rebasado los límites de la entidad inicial (CDMX) llegando al estado limítrofe (Estado de México), lo que acarrea numerosos problemas relacionados al uso de suelo (tanto ambientales como sociales) para la ciudad.

Debido a esto, los usos del suelo en una ciudad representan mucho más que un agregado de áreas de actividades homogéneas. Son en primera instancia el reflejo de las actividades económicas y de las condiciones sociales. En la estructura de los usos del suelo se refleja la base económica de la localidad y según sea la naturaleza, eficiencia y modernidad de ésta se darán ciertos arreglos territoriales (Arias, 2003).

Por ello, es necesario determinar el impacto espacial del crecimiento urbano y los cambios generados en el uso del suelo, por lo que se hace indispensable la utilización de métodos, técnicas y tecnologías modernas para su respectivo análisis, logrando así abatir tiempos, reducir costos y minimizar riesgos, además de poder generar información que contribuya a diagnosticar, corregir y predecir diversos problemas.

En este contexto un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta muy útil a través de la cual se obtiene información de un objeto sin tener contacto directo con él, lo cual es posible gracias a la relación sensor-cobertura. Permite elaborar levantamientos de altos volúmenes de información de la superficie terrestre que sirve de apoyo a diversas ciencias de cara a un conocimiento más avanzado del espacio que nos circunda.

En la actualidad, algunos de los insumos destacados de un SIG son las ortofotos digitales y las imágenes satelitales, ya que dado su formato permiten una fácil manipulación en computadoras y, por lo general, este tratamiento digital posibilita rapidez y exactitud en las salidas finales. Los SIG son herramientas que muestran en sus tendencias actuales la interoperabilidad de información y estandarización de la misma, ya sea que esta provenga de un formato análogo o digital (vectorial o raster).

El tratamiento digital permite llevar a cabo gran cantidad de análisis, que antes eran imposibles de realizar únicamente mediante interpretación visual, debido a su complejidad, tiempo requerido, costos, etcétera. El procesamiento digital incluye el análisis estadístico y matemático de las características de la imagen (Martínez y Díaz, 2005).

Problema

Se tiene la necesidad de identificar la magnitud y el impacto espacial de la expansión del área urbana, tanto desde la ciudad de México hacia su periferia como el crecimiento interno en cada municipio de la región de estudio, además de determinar el estado actual de uso del suelo de su territorio y poder percibir el impacto que puede tener este incremento urbano a futuro y sus probables consecuencias territoriales.

También se hace ineludible que a partir de los resultados obtenidos, se planteen posibles soluciones encaminadas a controlar de mejor manera el crecimiento poblacional y la ocupación del espacio geográfico, y tratar así de mejorar la situación social de la región de estudio.

Objetivos

Objetivo General

- Detectar y analizar las tendencias de cambio de cobertura y de uso del suelo de los municipios de Coacalco, Tultitlan y Tultepec, en el Estado de México durante el periodo 1994-2017 y poder así demostrar la factibilidad de utilizar los SIG en estudios urbanos, permitiendo abatir tiempos, reducir costos y minimizar riesgos.

Objetivos particulares

- Desarrollar una metodología de clasificación de imágenes que permita contar con un proceso sencillo y concreto a fin de obtener un resultado lo más cercano a la realidad del terreno.
- Determinar la cobertura, el uso del suelo y los cambios originados en la región de estudio e identificar el patrón de ocupación del espacio.
- Generar mapas temáticos a partir de la clasificación de imágenes aéreas y satelitales para mostrar los diferentes tipos de uso de suelo detectados en el área de estudio durante el análisis.

Hipótesis

- El suelo, considerado como un componente fundamental en la composición espacial de un territorio, sufre distintas modificaciones en su uso a lo largo del tiempo. De esta manera, dentro del mismo lapso de tiempo, existe una predominancia de un tipo de uso en particular. Con la utilización apropiada de herramientas tecnológicas como los SIG, se puede establecer el uso, la extensión y los cambios que se presenta el suelo durante un lapso determinado, de una manera eficiente.

Capítulo 1. Definición Conceptual Utilizada

1.1 Crecimiento urbano



Figura 1. Vista aérea de parte de la zona de estudio desde la Sierra de Guadalupe. Fuente: Recuperado de <https://mxcity.mx/>

La discusión temprana sobre la desaceleración del crecimiento en las grandes ciudades, tuvo, en los años noventa, un giro relativamente inesperado: la clave de ese proceso estaba en el vasto espacio periurbano, ni rural ni urbano, relativamente cercano a esas ciudades que “perdían” población. Así se han propuesto, entre otras, las nociones de “urbanización diferencial” que pone a las ciudades pequeñas a jugar un papel relevante, la de “ciudad difusa”, que atiende más a las formas de ocupación histórica del territorio, y el de “ciudad-región”, que parte de la articulación global-local para explicar ese movimiento económico “fuera del centro”, hacia una franja formada por el espacio ex urbano (Delgado, 2008).

1.1.1 Ciudad y crecimiento urbano

Una ciudad es una organización espacial de personas y actividades especializadas, diseñadas para maximizar los intercambios; a nivel local, la ciudad es el menor medio

de interrelación de actividades sociales y económicas para máximo beneficio de todas ellas; a nivel regional, aparecen sistemas de ciudades para organizar intercambio entre lugares distantes y para facilitar, a las áreas circundantes de carácter no urbano, los bienes y servicios que necesitan (Abler, Adams y Gould, 1972).

La ciudad es un espacio vital, un lugar habitado y habitable, con el objetivo prioritario de ser un medio donde el ser humano encuentre un ambiente favorable para su desarrollo armónico y solidario, en lo personal, en lo social y en lo sociológico. Esta interpretación de lo que podemos denominar la "ciudad habitable" (Precedo, 1996) nos sitúa en un nuevo paradigma de sistemas urbanos, algunos cuyos objetivos tendenciales enumeramos a continuación:

- 1) Satisfacer las necesidades de la persona y la familia (empleo, vivienda y educación).
- 2) Conservar un medio ambiente de alta calidad, incluyendo áreas naturales limpias y un entorno seguro. La gestión racional de los recursos medioambientales debe ocupar un lugar prioritario en la planificación.
- 3) Reducir la amplitud de los desplazamientos personales diarios, favorecer la movilidad geográfica a través de un transporte público eficiente y recuperar las calles como espacio social de relación.
- 4) Las nuevas aportaciones arquitectónicas conjuntamente con el mantenimiento en óptimas condiciones del patrimonio histórico y cultural existente, ocupan en el diseño y en las políticas urbanas un lugar primordial.
- 5) Promover una economía diversificada, dinámica, innovadora y participativa, que rompa con los modelos de desarrollo convencional.
- 6) Facilitar a la población el acceso a las nuevas tecnologías, manteniendo un entorno social estable, participativo y solidario
- 7) Diseñar una estructura urbana y regional adecuada al desarrollo de las actividades humanas y el ecosistema existentes.

En cualquiera de los casos, los que estamos dedicados al estudio de la ciudad y del territorio tenemos ante nosotros un importante desafío: conducir nuestros estudios y trabajos hacia caminos más humanísticos que, paradójicamente, son también los más compatibles con las ventajas que las nuevas tecnologías proporcionan y los cambios que se avecinan (Precedo, 1996).

En la ciudad, el crecimiento urbano es un fenómeno característico de la época actual, cuyos orígenes hay que ubicarlos en la estructura misma de la sociedad y en su evolución histórica. Se puede definir como la expansión geográfica de la ciudad, que se da cuando el área urbana empieza a invadir la rural. Su población se incrementa debido al desarrollo económico y aumenta la construcción de viviendas y edificaciones para empresas e industrias hacia la periferia (García-Moran, 1992).

El proceso de expansión urbana de una ciudad puede ser visto, en principio, como una mancha en un plano, que periódicamente rompe barreras y límites, determinados ya sea por ciertos accidentes geográficos (área de monte, ríos o riachos, lagunas, etcétera), ya sea por obras que actúan como límites (una ruta, un canal, el cementerio, el aeropuerto, áreas de parques industriales, entre otros), donde se supone que grupos de población, se establecen para producir y reproducir ciertas condiciones de vida.

Ahora bien, cuando hablamos de "lo urbano", en un nivel elemental de aproximación, hacemos referencia por lo menos a tres aspectos que en primera instancia pueden caracterizar un asentamiento con características de ciudad (Roze, 1999):

- Un tipo de ocupación, producto de la concentración de personas y ciertas inversiones de capital, donde las relaciones urbano-rural constituirían la dinámica urbana, siendo la ciudad y los poderes políticos y económicos que en ella se generan los que la controlan, ya que, aunque existe una relación de interdependencia entre la ciudad y el campo, el poder está centralizado en la ciudad (Unikel y Necochea, 1975).
- Esta concentración hace necesario y debe hacer posible la provisión de servicios básicos para la reproducción diaria de la vida, por ejemplo agua, alimentos, combustible, y de los elementos imprescindibles determinados por los niveles de sociabilidad y cultura que se expresaría en la gama infinita de servicios, instituciones y espacios diferenciales que componen el asentamiento.
- Finalmente, un conjunto particular de relaciones culturales, determinado por la infinidad de mediaciones que ofrece la complejidad derivada de la suma de acciones de los sujetos que interactúan.

Decimos entonces que el "suelo urbano" o producción de suelo urbano, es el continente espacial que hace posible lo urbano, que permite, determina, condiciona el complejo conjunto de artefactos y relaciones a través de los cuales los individuos pueden producir y reproducir sus condiciones materiales de vida (Roze, 1999).

En efecto, la dinámica de crecimiento urbano depende de la convergencia de diversos factores económicos, demográficos, culturales, políticos, sociales, geográficos y

tecnológicos, así como de la forma en que estos interactúan entre sí y del momento histórico en que lo hacen.

El crecimiento acelerado, en espacio y población, de una sociedad como la mexicana, trae como consecuencia la necesidad de satisfacer una demanda adicional de bienes y servicios, por lo que se debe reforzar la dotación de infraestructura y equipamiento en rubros como agua, drenaje, energía, transporte, educación, salud, vivienda, abasto, etcétera. Sin embargo, también es necesario tomar en cuenta aquellos aspectos que inciden en la calidad de vida, a fin de avanzar hacia un bienestar real de la población.

El impacto de los avances tecnológicos en la industria, comercio y medios de comunicación ha redundado en un deterioro paulatino del entorno urbano, a tal grado que la contaminación del suelo, aire y agua se ha convertido en un problema de salud pública que amerita medidas emergentes de carácter integral (García-Moran, 1992).

1.1.2 Elementos del paisaje urbano

El espacio urbano surge con el proceso de urbanización, es decir, con la transformación progresiva de espacio rural, muy diferenciado, en el que coexisten gran variedad de usos del suelo y dentro del cual se distinguen dos grandes categorías que son a la vez excluyentes y complementarias:

- a) Los espacios libres o públicos incluyen la viaria, el sistema de parques y jardines y los espacios libres urbanos. Estos últimos pueden ser entendidos como una red por su carácter continuo, a pesar de estar formados por múltiples elementos. Esta red garantiza la relación entre el espacio urbano y el resto del territorio, y la comunicación interna dentro de espacio urbano; también sirve de referencia para la parcelación.
- b) Los espacios parcelados, denominados también espacios construidos a pesar de que incluyen también el suelo vacante. Es el espacio de dominio privado, aunque una parte de las edificaciones serán equipamientos comunitarios, normalmente de titularidad pública.

Se conoce como trama o entramado urbano o también como plano urbano, la peculiar morfología de un área de la ciudad resultante de la manera de articularse entre sí los espacios públicos y los espacios parcelados. En el análisis de la morfología urbana se han de tener en cuenta básicamente tres aspectos: la forma de la trama urbana, la tipología edificatoria y los usos del suelo (Tabla 1).

Forma de la trama urbana	Tipología edificatoria	Usos del suelo
<ul style="list-style-type: none"> • Malla Ortogonal • Radiocéntrico • Lineal • Irregular 	<ul style="list-style-type: none"> • Vivienda unifamiliar aislada • Edificio residencial entre medianeras • Bloque aislado 	<ul style="list-style-type: none"> • Residencial • Industrial • Terciario • Equipamiento público

Tabla 1. Elementos definitorios de la morfología urbana. Fuente: Elaboración propia, tomado de Roma, 1998.

La trama urbana puede dar lugar a clasificaciones exhaustivas, en las que se pueden distinguir básicamente cuatro tipos (Figura 2). Uno es la malla ortogonal, propia de la mayoría de las ciudades. Los ensanches urbanos adoptan normalmente algún tipo de malla ortogonal; otro es la malla radio céntrica, que responde normalmente a una expansión urbana poco planificada y que se apoya en una red anterior de caminos rurales o vías de comunicación interurbanas; un tercero es la trama lineal, propia de núcleos pequeños en los que una vía de comunicaciones es el eje vertebrador; y finalmente, la trama irregular que es propia de centros históricos.



Figura 2. Formas de la trama urbana (de izquierda a derecha ortogonal, radiocéntrica, lineal e irregular). Fuente: Google Earth.

La tipología edificatoria es otro de los elementos que configuran la morfología urbana. Se pueden establecer a partir de diferentes parámetros; uno podría ser de tipo

histórico, atendiendo a las diversas fases en la construcción de la ciudad; otro es la intensidad y la distribución de la edificación dentro de la parcela, pudiéndose distinguir entre la vivienda unifamiliar aislada, el bloque aislado, la casa plurifamiliar en parcela aislada, el edificio plurifamiliar entre medianeras, etcétera.

Los usos del suelo urbano hacen referencia básicamente a la actividad que desarrolla o podrá desarrollar. Dentro del espacio parcelado, una primera distinción se hará entre los espacios destinados a uso público (equipamientos colectivos) y los destinados a usos privados, entre los que se tendrán que distinguir los espacios residenciales y los espacios destinados a actividades productivas. Puede darse el caso de una segregación total de usos o espacios con usos compartidos. Normalmente se distingue entre los siguientes conceptos:

- Uso predominante, el característico en una zona: uso residencial, uso industrial, etcétera.
- Uso compatible, acompaña al característico y enriquece la vida urbana, como la actividad terciaria en zonas residenciales.
- Uso tolerado, no enriquece la vida urbana pero contribuye a la diversidad de la zona, siempre y cuando no sobrepase un determinado umbral de generación de malestar o riesgos, como la pequeña industria en áreas residenciales (Roma, 1998).

1.1.3 Formas y causas del crecimiento urbano

Dentro del espacio urbano se pueden encontrar múltiples formas de crecimiento urbano y de ocupación residencial. Se ha establecido una clasificación de las formas de crecimiento urbano, definidas en función de la secuencia y de tres características básicas del proceso de urbanización:

- 1) La parcelación: morfología de la ocupación del suelo.
- 2) La urbanización: construcción de la infraestructura urbana.
- 3) La edificación: construcción de edificios según tipologías edificatorias (Sola, 2006).

Se podrá distinguir inicialmente entre las formas del crecimiento urbano y las que se han desarrollado al margen del planeamiento. La secuencia más habitual en el crecimiento urbano con planeamiento previo es la siguiente: parcelación-urbanización-edificación. Dentro de la segunda categoría hay formas de crecimiento que pueden integrarse a posteriori en el planeamiento vigente, mientras que otras son totalmente irrecuperables. En la ciudad real se encontrara normalmente una variada combinación de diversas formas de crecimiento (Figura 3), las cuales se describen a continuación:

- 1) Los ensanches. Forma más convencional de desarrollo urbano con planeamiento previo. Hay una atención inicial de tipo público con la aprobación del planeamiento, una urbanización posterior que puede hacerse de manera fragmentada y con participación conjunta del sector público y privado, y un proceso de edificatorio fraccionado conducido por la iniciativa privada.
- 2) La hilera suburbana. Forma habitual de crecimiento urbano a lo largo de las vías de comunicación. La primera etapa del proceso es una urbanización previa al desarrollo urbano, a la que sigue la parcelación y la edificación escalonadas.
- 3) La ciudad jardín. Forma de crecimiento residencial extensivo basado en la vivienda aislada, aunque la denominación podría ampliarse a algunos conjuntos de viviendas unifamiliares adosadas. En esta forma, la urbanización y la parcelación se hacen en una operación unitaria, mientras que la edificación llega de forma escalonada con vegetación natural integrada.
- 4) Los polígonos. Forma de crecimiento residencial intensivo que posee un carácter unitario. Parcelación, urbanización y edificación se hacen conjuntamente dentro de una única operación, que puede estar impulsada por la iniciativa privada o por el sector público.
- 5) La urbanización marginal. Forma que surge como respuesta espontánea a las necesidades de vivienda y a las penurias económicas de una población recién inmigrada que se instala en los suburbios de la ciudad. La urbanización marginal es casi siempre recuperable desde la perspectiva del planeamiento.
- 6) Las formas no recuperables. La barraca constituye una modalidad de crecimiento urbano totalmente irrecuperable desde el planeamiento urbano. Se caracteriza por la edificación directa sin ninguna etapa anterior de urbanización ni parcelación y por la ausencia, de título de propiedad (Roma, 1998).



Figura 3. Formas de crecimiento urbano (de izquierda a derecha ensanche, hilera, ciudad jardín, polígonos, marginal e irrecuperable). Fuente Google Earth.

El núcleo de los procesos de la ciudad, reside en la dialéctica entre crecimiento y forma, que determina el propio carácter de la ciudad en la medida que posibilita caracterizar la misma de forma clara e intangible. Por ello es importante enumerar las principales causas, con la idea de que entender las partes nos puede ayudar a entender el todo, y principalmente nos puede ayudar a definir opciones matizadas en cada caso. Es en realidad una descripción de la matriz de opciones de crecimiento de una ciudad o sistema urbano, en las que destacan:

- a) Crecimiento residencial. La fuerte expansión de las ciudades en los últimos cien años esta generada fundamentalmente por el crecimiento residencial. Su

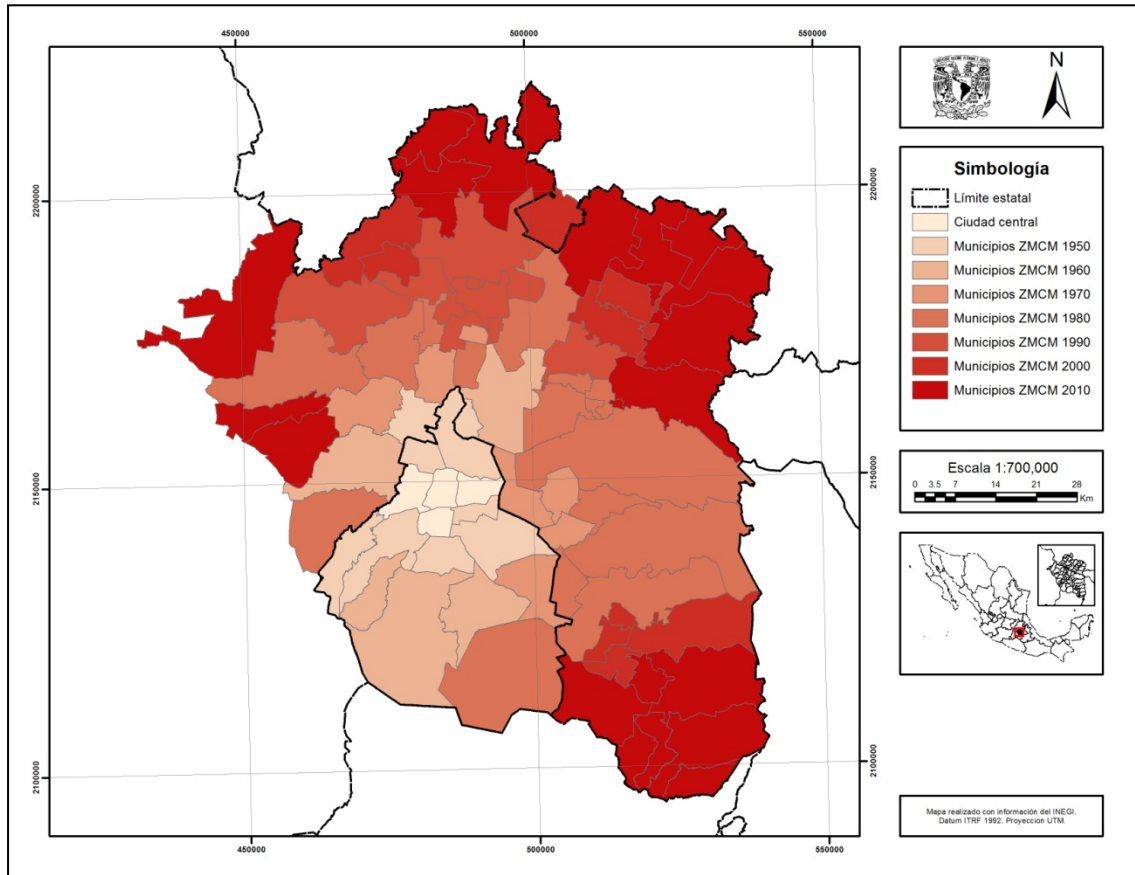
planificación tiene como objetivo la creación de vivienda para acoger la demanda. Su dimensión depende fundamentalmente del crecimiento de la población, de la tasa de formación de hogares y de los saldos de migración, junto con una aspiración legítima de mejora en las condiciones de tamaño y calidad de la vivienda. Los temas de densidad y uso de suelo son un elemento permanente del debate de planificación residencial (baja, media, alta, mixta).

- b) Remodelación urbana. Se entiende como una causa de crecimiento ya que supone la transformación de usos y la calidad urbana. Corresponde a uno de los requerimientos permanentes de la ciudad, las infraestructuras y los servicios. La remodelación es una opción de rediseño de la ciudad permanente y está en la base de la opción cero (no consumos de suelo).
- c) Crecimiento por áreas de actividad. La actividad tiene dos funciones básicas en la ciudad, por un lado es la base del sistema de rentas en la medida que es la base de la generación de empleo y por otra es el elemento que rentabiliza las economías de escala de la ciudad. Destacan las actividades comerciales, industriales, de logística, de ocio y los parques empresariales.
- d) Crecimiento por equipamiento. Es uno de los parámetros de medida de la calidad de la ciudad. Incluso en ciudades donde no haya crecimiento residencial o de actividad, la mayor demanda de servicios y equipamiento (salud, educación, abasto, etcétera) genera crecimiento y necesidad de suelo para este fin.
- e) Crecimiento por servicios. En la ciudad contemporánea se multiplican los servicios y la competencia entre distintas empresas de generación y suministro, además de la participación del sector público. Una infraestructura adecuada de servicios es la clave para la eficiencia de la ciudad y de una mayor comodidad y movilidad.
- f) Crecimiento por parques y espacios libres. Una adecuada articulación de plazas, jardines, parques urbanos y parques territoriales con una estructura interconectada y una urbanización amable, es un elemento clave para la mejora de las condiciones de calidad del entorno urbano (García, 2010).

1.1.4 El crecimiento urbano en la Ciudad de México

Desde los años cuarenta del siglo XX, la ciudad inicia su desarrollo metropolitano al crecer y extender su influencia sobre zonas periféricas e integrarlas funcionalmente a la vida urbana. El mapa 1 representa la evolución de este crecimiento hasta 2010; en el

aparece la expansión física del ámbito metropolitano y la conexión paulatina de unidades político-administrativas aledañas.



El crecimiento explosivo de la ciudad estuvo ligado al empuje de la industrialización a partir de la década de los cuarenta del siglo pasado, y se explica, en gran parte, por la migración masiva hacia la capital de contingentes numerosos de campesinos provenientes en su mayoría de las regiones vecinas.

El ritmo de crecimiento poblacional de la ciudad fue asombroso, con tasas cercanas al 5% anual entre 1950 y 1970. En estos años la expansión se dio en todas direcciones, alrededor de la ciudad central. Se integraron a la ciudad unidades político-administrativas colindantes que incluyeron el área más próxima del Estado de México. Estas unidades fueron los municipios de Tlalneantla y Naucalpan, que nacieron como regiones residenciales para aglutinar población de diversos estratos económicos.

En etapas posteriores, las cordilleras elevadas al poniente y sur de la ciudad se convirtieron en barreras naturales que dificultaron (sin detenerla), la expansión de la mancha urbana, mientras que en los últimos decenios ésta alcanzó una mayor

intensidad hacia el norte y el oriente (donde se ubica la zona de estudio), siguiendo la extensión natural del valle de México.

Actualmente los municipios y delegaciones considerados dentro de la ZMCDMX son 76 y se nombran a continuación: Acolman, Álvaro Obregón, Amecameca, Apaxco, Atenco, Atizapán de Zaragoza, Atlautla, Axapusco, Ayapango, Azcapotzalco, Benito Juárez, Chalco, Chiautla, Chicoloapan, Chiconcuac, Chimalhuacán, Coacalco de Berriozábal, Cocotitlán, Coyoacán, Coyotepec, Cuajimalpa de Morelos, Cuauhtémoc, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec de Morelos, Ecatepec, Gustavo A. Madero, Huehuetoca, Hueypoxtla, Huixquilucan, Isidro Fabela, Ixtapaluca, Iztacalco, Iztapalapa, Jaltenco, Jilotzingo, Juchitepec, La Magdalena Contreras, La Paz, Melchor Ocampo, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Naucalpan de Juárez, Nextlalpan, Nezahualcóyotl, Nicolás Romero, Nopaltepec, Otumba, Ozumba, Papalotla, San Martín de las Pirámides, Tecámac, Temamatla, Temascalapa, Tenango del Aire, Teoloyucán, Teotihuacán, Tepetlaoxtoc, Tepetlixpa, Tepotzotlán, Tequixquiac, Texcoco, Tezoyuca, Tizayuca, Tláhuac, Tlalmanalco, Tlalnepantla de Baz, Tlalpan, Tonanitla, Tultepec, Tultitlán, Valle de Chalco Solidaridad, Venustiano Carranza, Villa del Carbón, Xochimilco y Zumpango.

El desarrollo de la metrópoli continuó, con la inercia derivada de la concentración de empleo y actividad económica, acompañado de procesos de tipo ecológico. Los usos del suelo se fueron transformando; grupos socioeconómicos con ingresos altos abandonaron el centro de la ciudad, y se segregaron principalmente en zonas montañosas y pedregosas del poniente.

Los migrantes rurales que de manera tradicional llegaban al centro, se acomodaron posteriormente en fraccionamientos de nuevo desarrollo o colonias populares, muchas de ellas de origen ilegal, ubicadas cada vez más alejadas del centro. Poco a poco las áreas de nueva urbanización se fueron consolidando al instalarse comercios y servicios de primera necesidad.

El crecimiento dentro del Distrito Federal (DF) se contuvo en debido a la promulgación de leyes en el año de 1976 que prohibían los nuevos fraccionamientos, mientras la degradación de la vivienda en el corazón de la ciudad se acentuaba por las rentas congeladas. Estos y otros fenómenos favorecieron desde los años cincuenta y sesenta, un crecimiento demográfico muy fuerte sobre los municipios metropolitanos del Estado de México (Negrete, 1993).

Para 1970 eran hasta 20 los municipios metropolitanos; 23 en 1980; 32 en 1990; 41 en 2000; y 60 en 2010 (un municipio más en el estado de Hidalgo). La zona metropolitana de la ciudad de México tiene poco más de 20 millones de habitantes según el censo de población y vivienda del año 2010. De su población el 40% vive en el DF y el restante 60% en los municipios metropolitanos del Estado de México e Hidalgo (INEGI, 2016).

La ciudad, a lo largo del tiempo, se ha ido conformando como un mosaico fragmentado y heterogéneo en lo social, lo espacial, lo político y lo administrativo. Socialmente, la ZMCM cuenta con una población diferenciada tanto en sus aspectos demográficos como en los socioeconómicos: fecundidad, mortalidad, ingresos, ocupación, escolaridad, salud, nutrición, entre otros.

En cuanto al territorio, la estructura del área urbanizada por sus densidades, usos y valores del suelo, no resulta en absoluto homogénea; es decir, presenta altas densidades y valores del suelo en el centro y en ciertos puntos de la ciudad, y al mismo tiempo bajas o muy bajas densidades en la periferia. En el aspecto político, las dos entidades (DF y Estado de México), con sus respectivos gobiernos municipales y delegacionales, tienen bases legales y jurídicas distintas y, por tanto, reglamentos e instrumentos reguladores a su alcance, poco o nada parecidos.

Desde el punto de vista administrativo, la oferta de bienes y servicios públicos presenta grandes diferencias tanto cuantitativas como cualitativas que, entre otras cosas, se deben a que las fuentes de financiamiento, las capacidades para generar ingresos fiscales, la organización administrativa y la práctica en la gestión local poseen características distintas entre DF y Estados y entre delegaciones y municipios.

Estos procesos han producido, a través del tiempo, un paisaje diferenciado que varía enormemente en cuanto a la dosificación de bienes y servicios que llegan a la población. En consecuencia, son estos factores los que condicionan, si no es que determinan, el nivel de bienestar y la calidad del medio en el que se produce la vida social y comunitaria de los habitantes metropolitanos.

Uno de los cambios más notables en el paisaje geográfico de las grandes ciudades es el desplazamiento de la población del centro hacia la periferia urbana, conocido como suburbanización. Un primer dato sobre este proceso es la existencia de tasas negativas de crecimiento en el centro de la ciudad, que muestra una pérdida de población en términos absolutos en esta zona (cambio de residencia a la periferia).

De la población que llegó al Estado de México metropolitano durante los últimos veinte años, 71% proviene del DF. Por su parte, de los que llegaron a este último, solo 27% vivía en el Estado de México. La suburbanización se explica por la relación que existe entre los costos de transporte y la vivienda. Bajo el supuesto de que un trabajador gasta un porcentaje fijo de su ingreso en esos rubros, podrá sustituir entre ellos y obtener el mismo nivel de satisfacción. Parte de la flexibilidad de esta satisfacción, además del ingreso, es el recorrido diario del trabajador de la vivienda a su lugar de trabajo (Aguilar, 2004).

Para la década de los noventa, el proceso de suburbanización y la aparición y el desarrollo de extensas zonas habitacionales en la periferia metropolitana, a pesar de

registrarse tasas de crecimiento poblacional urbana relativamente bajas, se explicaban por el costo relativamente bajo (subsidiado) de servicio de transporte público para la población trabajadora y por el paulatino desplazamiento de fuentes de empleo hacia los municipios conurbados del Estado de México.

Para el nuevo siglo la Ciudad de México y su zona metropolitana continua siendo el centro político y económico del país. La concentración de las actividades económicas en esta región genera como consecuencia una explosión demográfica. Para el 2005 el crecimiento de la mancha urbana alcanzó una extensión de más de 1500 km². El área paso de ser básicamente industrial a especializarse en la actividad de servicios, prioritariamente profesionales, educativos y financieros.

La migración del campo a la ciudad, que constituyó la principal fuente de crecimiento demográfico hasta mediados de los años setenta, perdió relevancia para el análisis de la dinámica demográfica en la medida en que las migraciones intraurbanas se han intensificado. Hacia el año 2000 la migración interna en la ZMCM fue la fuente más importante de la dinámica urbana. El DF dejó de ser un área receptora de población para convertirse en una zona expulsora.

La incorporación continúa y desordenada a la ZMCM de nuevos municipios circunvecinos, la mayoría con grandes extensiones de tierra agrícola, provocó la creación de asentamientos humanos en condiciones muy precarias en los que, pese a la proximidad territorial, su población no tiene acceso a gran parte de los servicios y del equipamiento característico del resto de la ciudad. Ello determina las características de la metropolización y su representación en el territorio (Villareal y Mignot, 2007).

1.2 Uso del suelo

1.2.1 El suelo y el uso del suelo

La interrogante sobre ¿Qué es el suelo? Es quizá la más difícil para un especialista en suelos, ya que existen diferentes puntos de vista, incluso entre los mismos investigadores (Figura 4). Para la generalidad de las personas, suelo es lo que está pisando; para un agricultor, suelo es el material donde obtiene sus cosechas y este es quizá el más adecuado desde el punto de vista agrícola y práctico.

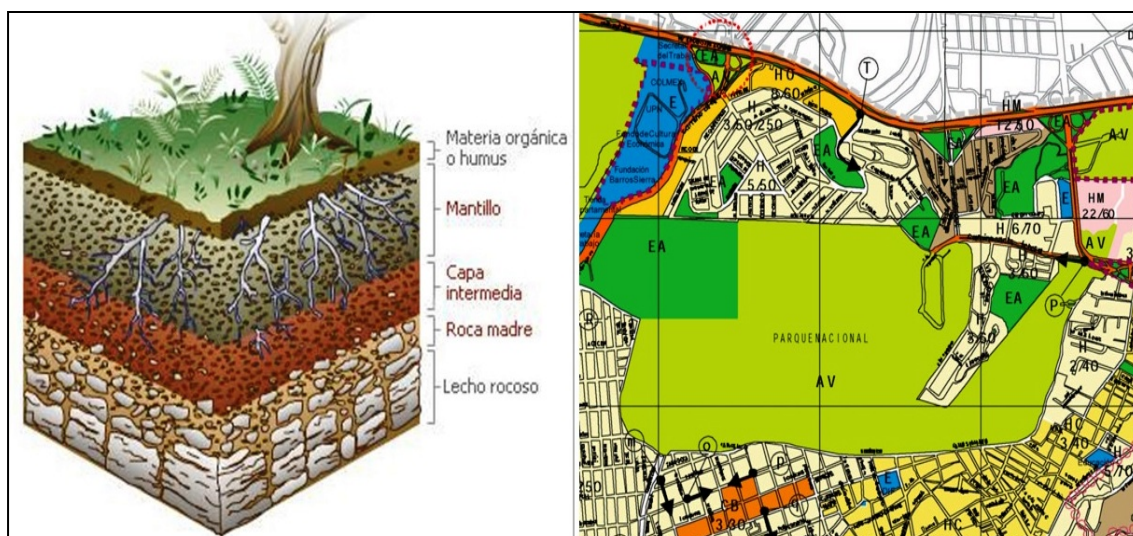


Figura 4. Ejemplos de enfoque físico (izquierda) y enfoque social (derecha) del suelo. Fuente: Recuperado de <http://www.emb.cl>

El suelo, desde un punto de vista físico, es la parte superficial de la corteza terrestre que ha estado sujeta al intemperismo, cuyos límites laterales son las nieves eternas, los océanos y lagos; cuyo límite superior es la atmosfera; y su límite inferior los materiales no intemperizados, además de ser el soporte de las plantas.

Específicamente el término Solum agrupa a los horizontes genéticos desarrollados por los factores de formación de los suelos (meteorización) y excluye los materiales subyacentes. Los factores principales que intervienen en la meteorización son: el material madre o parental, el clima, el relieve, la biota u organismos vivos y el tiempo (León, 1991).

El suelo, desde una perspectiva social, es visto como un producto generado de las relaciones sociales, es algo trabajado y transformado, como cualquier otra mercancía, por lo que se ha convertido en factor de contradicciones entre los distintos grupos sociales en la lucha por su producción y consumo. Podemos decir que el suelo, determinado como una mercancía cobra un significado muy especial a través de los valores de uso y de cambio que éste genera. De esta manera podemos observar las siguientes características:

- a) El suelo tiene una localización fija. Lo que genera privilegios monopolistas.
- b) El suelo es una mercancía de la que nadie puede prescindir. Ya que no puede existir sin ocupar un espacio.
- c) El suelo no cambia de manos frecuentemente. Dependiendo del uso que se le dé, puede adoptar o no la forma de mercancía con frecuencia.

- d) El suelo es algo permanente. El suelo y los derechos de uso relacionados con él, dan la oportunidad de almacenar riqueza, al individuo y a la sociedad.
- e) El cambio en el mercado se produce en un tiempo muy corto. Mientras que el uso se extiende a lo largo de un periodo de tiempo.
- f) El suelo tiene numerosos y distintos usos, que no se excluyen entre sí para el usuario. El valor de usos no es el mismo para todos, así cada individuo y cada grupo determinarán un valor de uso diferente.

Debemos centrar nuestra atención en los momentos de cambio profundos del proceso de toma de una decisión (económico-político) respecto al uso de suelo urbano, en que el valor de uso y el valor de cambio se unen para hacer del suelo así como de sus mejoras, una mercancía (Corral y Aguilera, 1993).

Los usos de suelo en una región representan mucho más que un agregado de áreas de actividades homogéneas. Son en primera instancia la materialización de la economía y las condiciones sociales. En la estructura de usos del suelo se refleja la base económica de la localidad y según sea la naturaleza, eficiencia y modernidad de ésta se darán ciertos arreglos territoriales.

Las características económicas y tecnológicas, las socioculturales y las de organización administrativa que representan en la sociedad urbana, de una u otra forma se manifestarán en su estructuración territorial, en muy distintas modalidades resultado de las también muy diversas posibles combinaciones. Además, diferentes procesos se pueden presentar en una misma ciudad, y con seguridad esos mismos procesos de reestructuración territorial irán adoptando modalidades distintas para cada uno de los diferentes contextos históricos de la región.

Cada región tendrá una estructura de usos del suelo diferente como consecuencia de contextos históricos en los que se combinarán diferentes procesos naturales, económicos, sociales, culturales y políticos. Sin embargo, se pueden reconocer lógicas de estructuración territorial más o menos comunes para cada uno de los contextos históricos en que se ubican (Kunz, 2003).

1.2.2 Determinantes y condicionantes del uso del suelo

Los determinantes y condicionantes del uso del suelo (Figura 5) se entienden como una descripción del terreno, obtenida a partir de características particulares las cuales son el resultado de un entorno histórico influenciado por diversos factores políticos, económicos, sociales, culturales y naturales. Los determinantes principales del uso del suelo son:

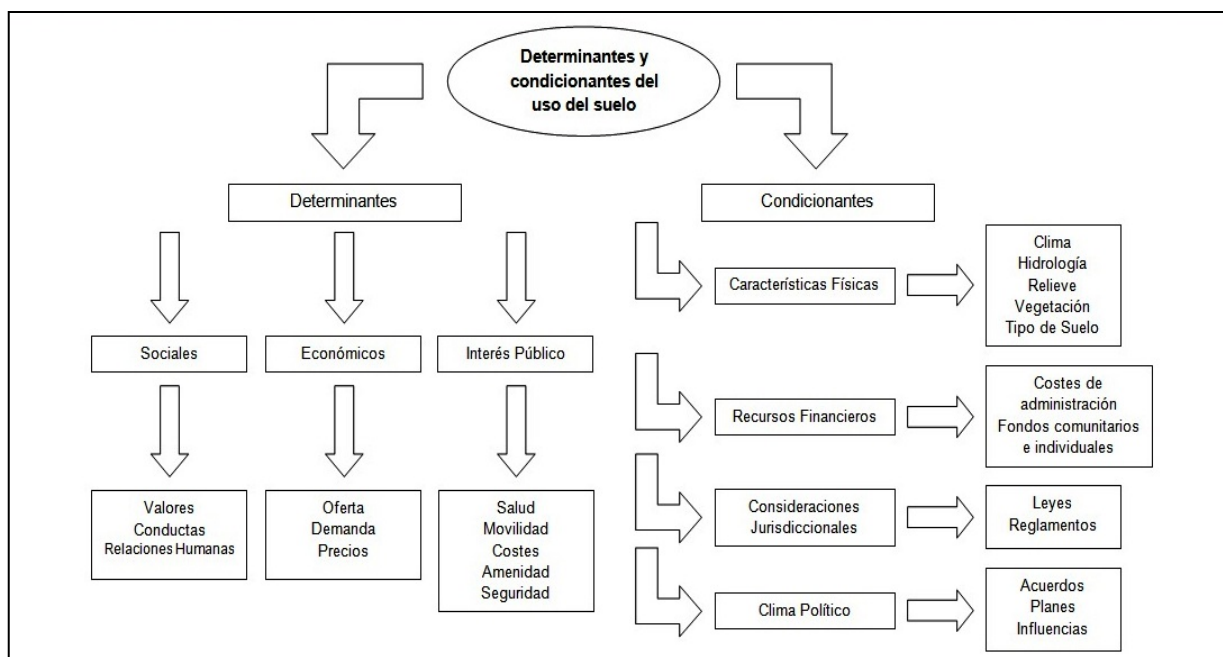


Figura 5. Determinantes y condicionantes del uso del suelo. Fuente: Elaboración propia.

- a) **Determinantes económicos:** Se plantea que las fuerzas exteriores que afectan la creación y vitalidad de la economía actúan sobre unos procesos internos del mercado de uso del suelo para determinar sobre el terreno la localización de las funciones. Estas fuerzas regionales influyen de una manera considerable en la cantidad y el ritmo de urbanización del suelo.

El especialista económico considera el suelo (en el sentido genérico de patrimonio inmobiliario) como un bien comerciable en el mercado sujeto a las fuerzas de la oferta y la demanda, y según la teoría clásica del equilibrio, el precio se convierte entonces tanto en una función de los costos por hacer el suelo productivo (al ofrecer servicios rentables), como en una función del ingreso neto o ganancia que se pueda obtener al desarrollar este suelo.

Se considera que el suelo tiene un valor monetario debido a su capacidad de producir ingresos en el futuro. Este valor se basa en que los promotores puedan justificar económicamente lo que se pueda pagar por el suelo según un plan concebido para uso y desarrollo.

El precio del suelo en el mercado varia, entre otras cosas, según el tipo de área funcional donde está situado dentro de la estructura general de usos del suelo y según sus relaciones con otros terrenos dentro de un mismo tipo de área de usos. El especialista económico plantea la estructura global de usos del suelo

como el resultado acumulativo del proceso de selección de decisiones en el mercado, a lo largo de un periodo de tiempo.

- b) Determinantes sociales: Se influyen de manera recíproca con las determinantes económicas, y están ligadas entre sí de forma tan compleja que es muy difícil medir y diferenciar los efectos por separado.

El especialista social generalmente considera la región en un sentido de ecología, con su preocupación por los aspectos físicos espaciales y materiales, y en parte, dentro del contexto de la estructura social, preocupándose por los valores, conductas e intercambios humanos, tal como se reflejan en las instituciones sociales como: la familia, el gobierno, el trabajo, etcétera.

En enfoques más recientes del análisis de la vida regional, los procesos ecológicos están más íntimamente asociados con la conducta social de las personas y de los grupos y con cuestiones relacionadas con los valores humanos y procesos sociales de acción.

Los geógrafos centran su atención sobre los procesos de adaptación social a su medio ambiente regional. La geografía trata de la relaciones existentes entre la sociedad con su medio ambiente físico. Algunos procesos sociales básicos que se han identificado son: agregación (concentración-dispersión, centralización-descentralización, invasión-sucesión) y conducta social (valores-ideales, deseos-necesidades, decisiones-acciones).

- c) Determinantes de interés público: Se debe considerar los usos del suelo desde el contexto de la salud, seguridad, movilidad, costes y amenidad. Se debe considerar el interés público en relación con el desarrollo regional, y particularmente con la acción pública que busca asegurar la habitabilidad y desarrollo sustentable de la región a medida que el suelo se ocupa.

El tema se centra en las acciones del gobierno dirigidas a obtener una cierta habitabilidad en la escena regional, y unidad y eficacia en la estructura general de usos del suelo. La habitabilidad en la región se convierte en un asunto de interés público cuando existe un consenso entre los residentes sobre las necesidades y deseos fundamentales que deben ser reconocidos a medida que el área ocupada se expande y desarrolla (Chapin, 1977).

Los problemas de cómo se obtiene la convergencia del interés público con los determinantes económicos y sociales del uso del suelo, y cómo esta síntesis se

expresa en la forma física del plan de desarrollo regional, constituyen la médula del proceso de planeamiento de usos del suelo (controles de desarrollo).

Cualquiera que sea la comunidad o circunstancia, es obvio que el temperamento de las comunidades (valores, conducta, aceptación) dictará hasta qué punto el planeamiento de usos del suelo podrá llegar a proveer seguridad, higiene, conveniencia, economía y amenidad en el ambiente físico.

El aspecto de enfocar todos los determinantes de los usos del suelo, relacionados con el interés público, es una perspectiva común, que concierne a la problemática práctica regional: características físicas, recursos financieros, consideraciones jurisdiccionales y políticas. Todas afectan el grado hasta el cual el control es necesario o posible en vista de las realidades económicas y sociales, y juntos incluyen las consideraciones más prácticas que condicionan el uso de controles de interés público.

- d) Características físicas: Incluyen tanto los factores fisiográficos asociados con el territorio de la región como las características de los asentamientos que han sido superpuestos sobre dicho territorio. Por lo tanto, implican, de un lado, las propiedades de la zona como el clima, el tipo de suelo, el relieve, la vegetación y la hidrología las cuales determinan su aprovechamiento por parte de la sociedad, y por otro lado, implican los aspectos prácticos de la manera según la cual el suelo ha sido ocupado, y de forma más particular, el grado hasta el cual esta estructura de asentamiento puede ser variada a través del planeamiento como una forma de control.
- e) Recursos financieros: El grado hasta el cual una comunidad y/o particular pueden adquirir terrenos, desarrollar su sistema de espacios públicos, llevar a cabo programas de renovación urbana o emplear otras formas de control de desarrollo, el cual está directamente relacionado con su condición y recursos financieros. Además, los costos de administración, pueden adicionar un factor limitativo incluso si se emplean formas de controles regulares.

Las apropiaciones presupuestarias afectan a la capacidad de la región para aplicar las medidas reguladoras y por ello, el grado de control ejercido. Estos recursos son una función de los impuestos que la gente está dispuesta a pagar en relación con sus expectativas de servicios, dotaciones y controles gubernamentales. Demasiado a menudo un control ratificado por la mayoría de la comunidad es una cosa, y los recursos para ponerlo en práctica es otra.

- f) Características jurisdiccionales: Estos son problemas muy reales y prácticos asociados con el gran número de jurisdicciones políticas que se han desarrollado en las regiones a través del tiempo. La mayoría de estos problemas surgen en relación con las dificultades financieras que tienen planteadas estas demarcaciones. Como una consecuencia de ello, las políticas de control con respecto al desarrollo del suelo están siendo dirigidas cada vez más por consideraciones del potencial de producción de ingresos públicos.
- g) Clima político: Se refiere a lo que resulta aceptable para los elementos de la comunidad que tienen influencia y toman las decisiones. En un sentido, está relacionado con lo aceptable para los habitantes en general, en otro, con lo que es aceptable para los individuos y grupos organizados influyentes en la comunidad, y aun en otro sentido con lo que resulta aceptable a la estructura formal del gobierno. Los tres elementos pueden estar en armonía o en completa contradicción, lo que influye en los resultados obtenidos durante el control.

De acuerdo a los puntos anteriores, el suelo se pone en uso como consecuencia de una mirada de acciones individuales y de grupos. Estas acciones siguen una secuencia de conducta definida que culmina en cambios de uso del suelo, y que son motivados por valores, ideales y actitudes resultantes mantenidas por varios segmentos organizados y no organizados de la población (Chapin, 1977).

1.2.3 Clasificación e información de uso del suelo

La información de uso del suelo se ha referido tradicionalmente al uso del espacio al nivel del terreno. Esta información clasifica y registra los usos del suelo edificado según las actividades funcionales llevadas a cabo en la región. La expresión "actividades" ha sido siempre relacionada con el uso del suelo y se ha asociado a varias clases de un modo intuitivo.

Para estudios generales iniciales, un sistema de clasificación basado en el uso del suelo, en planta baja, cumple todavía su propósito. Se debe interesar en el uso del suelo como un instrumento descriptivo, pero más fundamentalmente le interesa el uso del suelo y del espacio en la medida en que estos reflejan concentraciones de las actividades humanas.

En las investigaciones sobre el uso del suelo se le busca clasificar y registrar en su relación con las actividades locales y no locales y con los sistemas de comunicaciones. Se requiere un sistema de clasificación que sea compatible con esas formas de interacción y que a la vez servirán como una estimación general para inventariar los diferentes tipos de terrenos.

Las formas de representación han variado e medida que han ido cambiando los sistemas de clasificación y de procesamiento de datos. Para estudios generales descriptivos (como es en el caso de mi investigación), uno de los métodos más utilizados y más simples para representar los datos sobre el uso del suelo es el diagrama de desarrollo del suelo (Figura 6), que simboliza la distribución del terreno en uso urbano, sin distinguir entre los distintos sub-usos. Esos diagramas se pueden utilizar para mostrar los cambios históricos de la zona a lo largo del tiempo.

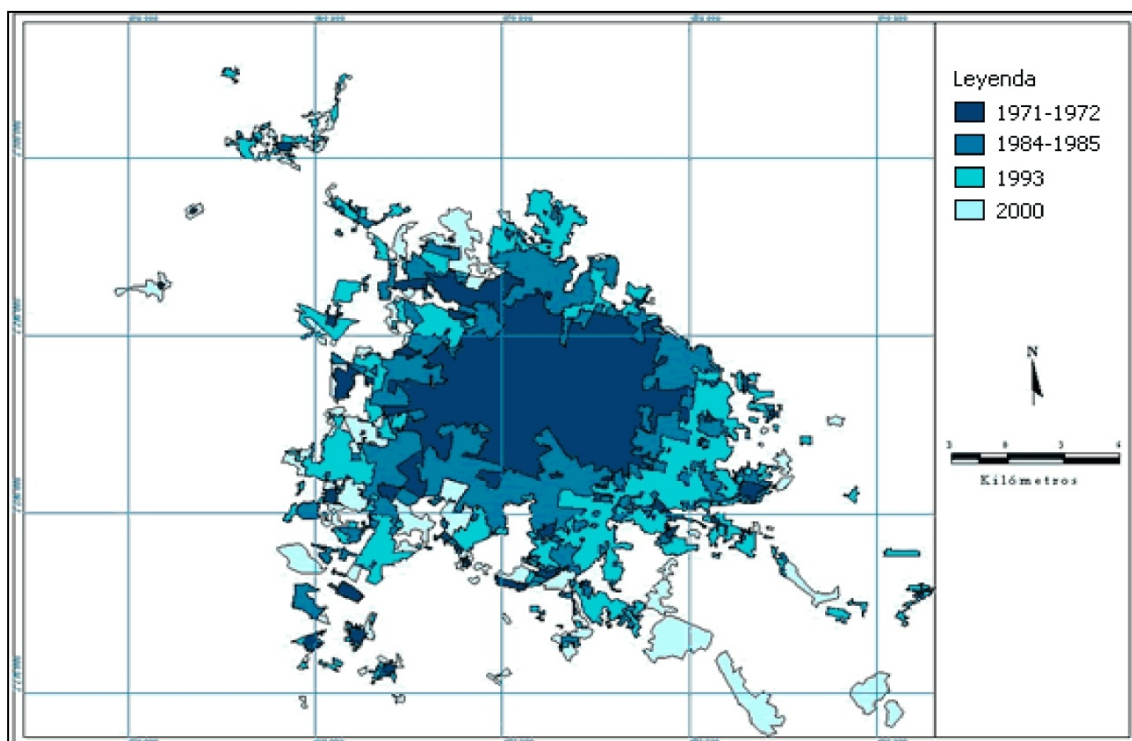


Figura 6. Diagrama de desarrollo del suelo. Fuente: Recuperado de Atlas de la producción del suelo urbano en el Área Metropolitana de Guadalajara 1970-2000.

Las aplicaciones de los estudios de uso del suelo, son numerosas. Una de ellas, de interés directo e inmediato, es la preparación del plan preliminar de uso del suelo, un avance general de desarrollo del suelo que sirve como guía inicial y sienta las bases de trabajo, siendo parte del plan comprensivo. En los estudios preliminares nos interesa principalmente el uso del espacio a nivel terreno. En los estudios más exactos del plan comprensivo, continuación de estos estudios preliminares, el análisis del uso del espacio incluye la superficie en plantas altas y plantas bajas (Chapin, 1977).

El concepto "usos del suelo" lleva implícito el termino usar, es decir, hacer uso, emplear, servirse de, acostumbrar, tener por práctica habitual. Sin embargo existen diferentes enfoques en el estudio de los usos del suelo:

- a) Enfoque funcional. El uso del suelo se mapea en función de la actividad que se desarrolla en él, siendo el uso el derivado de ella. De esta forma se clasifica el

suelo según su asociación con alguna de las funciones que cumple para el hombre, en cuanto a la satisfacción de sus necesidades:

- Funciones de conservación: parques naturales, espacios protegidos, áreas de alta fragilidad...
- Funciones de consumo: usos recreativos, residenciales, urbanísticos...
- Funciones de producción: usos agrícolas, forestales, industriales...

Este enfoque funcional (Figura 7), que más bien se refiere a "ocupaciones del suelo", presenta especiales dificultades en los ámbitos donde aparecen más de una de las funciones anteriores.

- b) Enfoque formal. Identifica el uso del suelo con la ocupación del mismo y el análisis se lleva a cabo a partir de determinadas características derivadas de su aspecto visual: el tono, la textura, la densidad, la forma, el color...
- c) Enfoque multidimensional. Supone una mezcla de los dos anteriores: unos usos se clasifican por su funcionalidad y otros por sus características visuales.

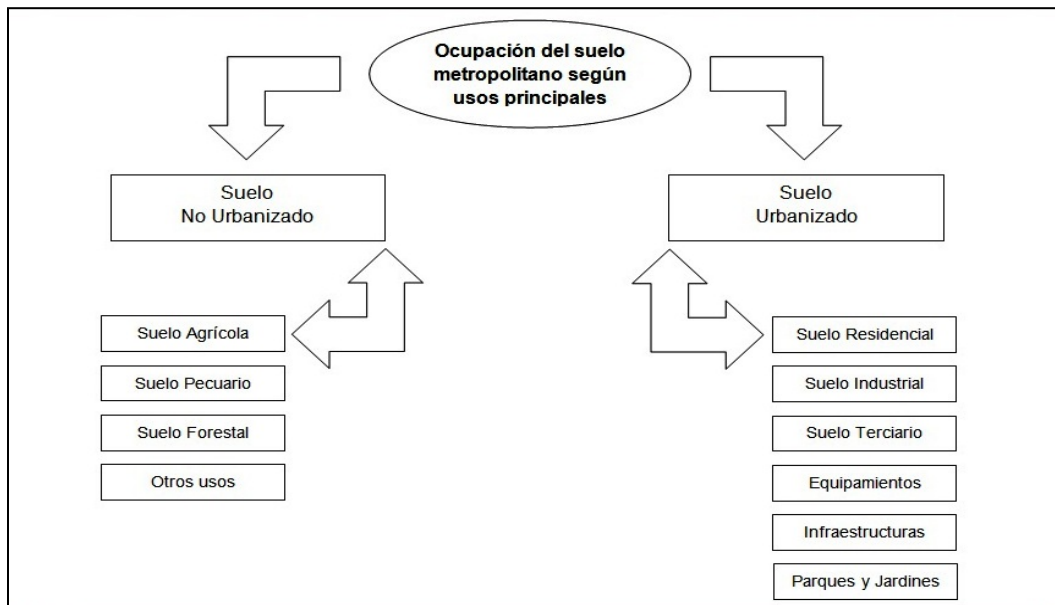


Figura 7. Ocupación del suelo metropolitano según usos principales. Fuente: Elaboración propia, tomado de Roma, 1998.

En cualquier caso, hay que distinguir, siguiendo la terminología anglosajona, entre uso y ocupación del suelo (Land use y land cover respectivamente) según nos refiramos a la actividad humana sobre el territorio o a los materiales que aparecen sobre él (López, Cresente y Álvarez, 2004).

Debido a la gran variación de usos existentes, es necesario clasificar los usos del suelo y del espacio de un modo sistemático. Esto da lugar a un sistema de clasificación y si

se van a utilizar métodos modernos de procesos de datos, trae consigo un sistema de codificación. La clasificación es un medio sistemático de agrupación de categorías de uso del suelo similares, en consecución de unos propósitos predeterminados, y la codificación permite el registro de usos del suelo consecuentes con esos propósitos. La clasificación permite tratar con familias de usos del suelo en distintas clases de análisis y la codificación permite un acceso rápido a los datos de usos del suelo y la reorganización de los datos en combinaciones de familias.

Es evidente que antes de adoptar un sistema de clasificación, definitivamente se debe estudiar y pensar sobre el detalle y la forma en que se van a necesitar los datos para sus aplicaciones inmediatas. Un sistema concebido demasiado rígidamente, demasiado sujeto a un tipo de aplicación, puede convertirse en un hándicap serio para el programa en general del planeamiento, y una vez que se ha adoptado un sistema de clasificación, el hacer modificaciones posteriores puede crear problemas.

Para evitar la realización de trabajos inútiles durante el periodo de estudio de los usos del suelo, el sistema adoptado debe reflejar las aplicaciones conocidas específicas eliminando aquellas aplicaciones que, aunque posibles, sean dudosas, por prometedoras que puedan parecer al principio, hasta que su validez quede totalmente demostrada (Chapin, 1977).

1.3 Sistemas de Información Geográfica

1.3.1 Definición de un SIG

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) puede definirse de dos maneras: como una herramienta de software que permite almacenar, recuperar, analizar y desplegar información geográfica, o como un instrumento computacional que brinda la oportunidad de examinar diversos sucesos que ocurren sobre la Tierra. Se diferencia de otras tecnologías (cartografía automatizada o diseño asistido por computadora) en la medida que sus funciones posibilitan la realización de análisis con base a los atributos espaciales y no espaciales de las entidades gráficas que son almacenadas en una base de datos. Así, facilitan la simulación (modelación) de los fenómenos del mundo real.

Las operaciones de consulta y manipulación de datos geográficos constituyen la esencia de un SIG. A su vez, el geoprocésamiento se refiere a los procesos de consulta destinados a establecer relaciones entre entidades en el espacio con el fin de inferir respuestas a comportamientos, fenómenos u objetos. De esta forma, permite establecer las dinámicas, causas o consecuencias de situaciones en el espacio, y por lo tanto, favorecer la toma oportuna y confiable de decisiones al generar mapas y reportes que destacan y califican las respuestas (Sanabria, 2010).

Un SIG es una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar preguntas de modo inmediato.

Es realmente complejo explicar el concepto de SIG y no hay un consenso a la hora de definirlo, debido a que integra dentro de una misma definición tanto los componentes como las funciones. Así mismo, existen muchos otros significados de SIG, algunos de ellos acentúan su componente de base de datos, otros sus funcionalidades y otros enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones; pero todos coinciden en que se trata de un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas del conocimiento.

La base de un SIG es una serie de capas de información espacial en formato digital, también conocida como ráster, que representa diversas variables (malla de píxeles), o bien capas que representan objetos, igualmente conocidas como vectorial, a las que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada (puntos, líneas y polígonos). Esta estructura (Figura 8) permite combinar en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos, incrementando la complejidad del sistema (Peña, 2006).

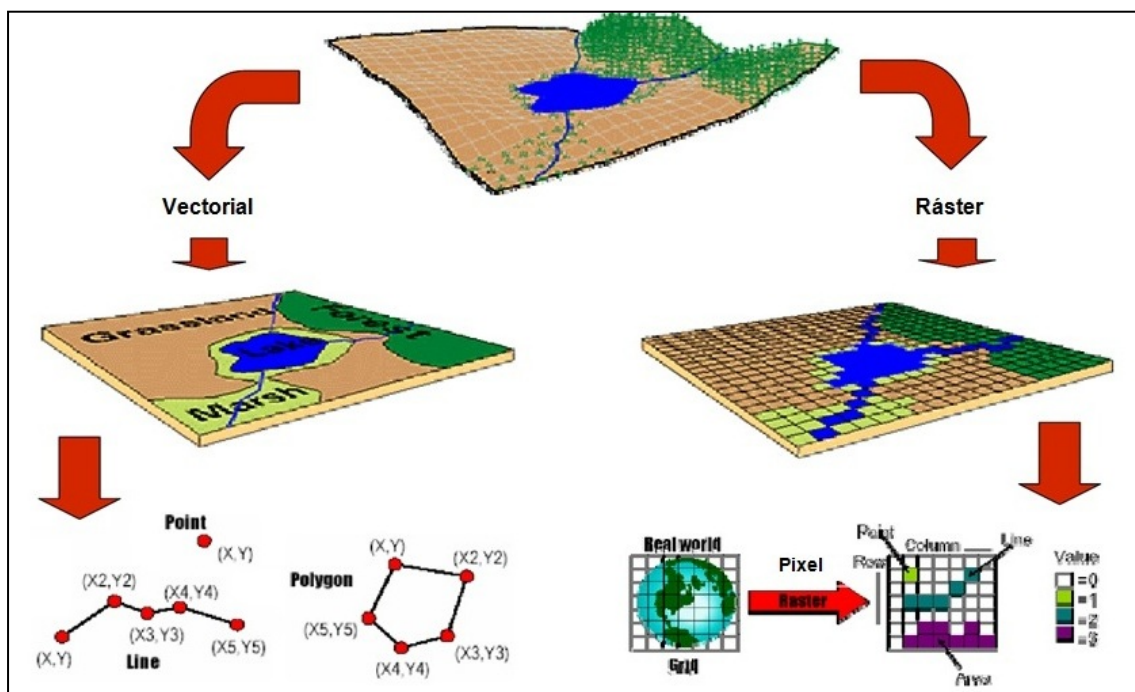


Figura 8. Formatos Ráster y Vectorial dentro de un SIG. Fuente: Recuperado de <https://gisgeography.com>

1.3.2 Componentes y funciones de un SIG

Un SIG reúne cinco componentes clave: hardware, software, usuarios, métodos y datos. Así mismo, posee unas condiciones input de entrada para cada uno de estos componentes; otras intermedias referidas al procesamiento y unas más denominadas output o de salida. Las características de los componentes principales de un SIG son las siguientes:

Hardware. Se refiere a los elementos materiales o equipos, sus capacidades de cómputo y los artefactos periféricos para la entrada de datos, almacenamiento, procesamiento y salida de información inteligible o presentación de resultados.

- Entrada: teclado, ratón, escáner...
- Proceso: disco duro, procesador, drivers...
- Salida: impresora, monitor, plotter...

Para que el programa SIG pueda correr, los requerimientos de hardware son normalmente establecidos por el distribuidor del software de acuerdo con la versión que sea instalada (Sanabria, 2010).

Software: Es el soporte lógico de un SIG. Permite realizar una secuencia ordenada de funciones, al final de las cuales se obtienen los resultados, mediante múltiples procesos internos de integración y evaluación de información. Hay cinco aspectos que se relacionan con las funciones técnicas que realizan los programas que compone un SIG:

- 1) Entrada, transformación y verificación de datos. Este grupo se relaciona con la captura y transformación en formato digital de los datos obtenidos desde diferentes fuentes: mapas, imágenes satelitales, video-imágenes, fotografías aéreas, etcétera.
- 2) Almacenamiento y manejo de bases de datos. Se refiere a la manera en como el sistema estructura y organiza la información de los elementos considerados en el análisis, es decir, se toman en cuenta sus características de posición, conectividad y atributos.
- 3) Procesamiento y análisis de información. Son las actividades que puede desempeñar un SIG con relación a dar respuesta de una consulta específica. Es donde se marca más claramente la diferencia entre un SIG y un sistema cartográfico asistido por computadora. Cambios de escalas y proyecciones cartográficas, rotaciones y traslaciones de información espacial, cálculos de áreas, sobreposiciones de mapas, análisis matemáticos, etcétera.

- 4) Salida y representación de resultados. Esta parte se relaciona con las diversas maneras (tablas, mapas, gráficas e imágenes) en que pueden ser representados y obtenidos los resultados de los análisis: despliegues en pantalla, impresiones, archivos en formato digital, etcétera.
- 5) Interacción con el usuario. La maneras en cómo el usuario puede comunicarse con el sistema es un punto esencial para la aceptación y el uso de un SIG. El desarrollo de sistemas amigables es cada vez más frecuente, lo cual ha permitido que los usuarios interactúen continuamente, y de manera más eficaz, con los SIG (López Blanco, 2005).

Existen múltiples programas con características de complementariedad e interoperabilidad con un SIG. Entre estos se encuentran los destinados al procesamiento digital de imágenes, la percepción remota y la teledetección (Erdas ó Envi); los orientados a la tecnología de gestión de datos (Oracle ó Postgres); los de gran valía para el diseño asistido por computadora (AutoCad o Microstation); y los estrictamente orientados al SIG, tanto de licencia libre como comercial (Ilwis, Idrisi o ArcGIS). Todos ellos disponen, en suma, del siguiente mecanismo para el procesamiento:

- Entrada: interfaces, lenguaje, programación...
- Proceso: arquitectura, código fuente...
- Salida: aplicaciones, comandos...

Datos. Son los registros de cualquier tipo (sonidos, textos, gráficos y demás), que se almacenan en la computadora, y pueden ser desplegados, consultados, editados, manipulados o analizados para efectos de obtener información útil en la toma de decisiones.

Los SIG utilizan, básicamente, dos tipos de datos: información espacial correspondiente a la representación de formas y localización de los objetos o fenómenos de la realidad, comúnmente llamada Geodatos, e información no espacial que caracteriza a dichos objetos, denominada atributos. Cada una posee su propia base de datos y es vinculada con el SIG para favorecer su comprensión. Los elementos input, centrales y output relativos a la gestión de los datos, pueden identificarse así:

- Proceso: estructura, organización, formato...
- Salida: tablas, bases y modelos de datos...

Usuarios. Son los componentes más importantes, pues un SIG requiere quien lo opere, quien le indique los procesos que debe realizar y quien determine la utilidad, el tipo y las características de la información. Entre los usuarios se encuentran los operadores directos del sistema, los proveedores de datos, los solicitantes de resultados de operaciones sustentadas en dichos datos, los encargados de decidir a partir de esos resultados y los beneficiarios de las decisiones adoptadas. La interacción de los usuarios SIG puede plasmarse de la siguiente manera:

- Entrada: percibe, registra...
- Proceso: interpreta, valora, juzga...
- Salida: decide, ejecuta...

Métodos. La planificación del espacio es un serio asunto público que requiere procedimientos e instrumentos de análisis y de decisión. Muchas técnicas han sido generadas en aras de obtener una correspondencia entre las respuestas y los propósitos: las especificaciones propias de cada disciplina, en consecuencia, han buscado ofrecer alternativas a los diferentes problemas.

En esta exploración permanente, se han diseñado mecanismos que brindan soluciones o facilitan las operaciones enfocadas a garantizar el correcto desenvolvimiento de los procesos. Entre los primeros, se pueden ubicar las técnicas que adecuan procedimientos a los SIG por medio de la construcción de modelos, y entre los segundos se enmarcan los proyectos en instrumentos operativos. Desde la óptica de los sistemas, los métodos poseen elementos comunes que podrían señalarse así:

- Entrada: consultas, visualización...
- Proceso: selección, análisis, modelación...
- Salida: simulación, resultados...

El SIG cumple la función de ser la base para el manejo e integración de la información necesaria para dar elementos de juicio a los diversos profesionales, para que ellos, a su vez, establezcan prioridades y metas (Sanabria, 2010).

1.3.3 Aplicaciones de un SIG

Un SIG es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por tanto, cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG. Entre las aplicaciones más usuales destacan:

- Científicas: ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio, desarrollo de modelos empíricos, modelización cartográfica, modelos dinámicos y teledetección.
- Gestión: cartografía automática, información pública, catastro, planificación y ordenación territorial, impacto ambiental, evaluación de recursos y seguimiento de actuaciones.
- Empresarial: marketing, estrategias de distribución, planificación de transportes y localización óptima.

Aunque, todas estas disciplinas utilicen los SIG para resolver cuestiones distintas, todas realizan y ejecutan tareas comunes, siendo estas:

- Organización de datos: almacenar datos con el fin de sustituir una mapoteca analógica por una mapoteca digital por sus obvias ventajas.
- Visualización de datos: la posibilidad de seleccionar los niveles de información deseados.
- Producción de mapas: disponibilidad de herramientas completas, siendo simples la inclusión de rejillas de coordenadas, escala gráfica y numérica, leyenda, flecha de norte y diversos textos.
- Consulta espacial: posibilidad de preguntar cuáles son las propiedades de un determinado objeto o en qué lugar tiene tales propiedades.
- Análisis espacial: consiste en el uso de un conjunto de técnicas de combinación entre los niveles de información (capas), con el fin de evidenciar patrones o relaciones entre los datos.
- Previsión: la verificación de escenarios, modificando los parámetros para evaluar como los eventos espaciales ocurrirán si las condiciones fueran diferentes.

- Creación de modelos: desarrollo y aplicación de modelos distribuidos espacialmente, y para la validación de escenarios hipotéticos (Peña, 2006).

Para que el usuario aplique determinadas capacidades o funciones de consulta en el SIG, se deben considerar los diversos niveles de complejidad de análisis que pueden ser llevados a cabo en el ambiente de esa tecnología. A continuación se describen cada uno de los niveles de complejidad:

- El primer nivel se refiere al principio fundamental de la geografía, el de localización; es el nivel más simple de análisis y con él se responde una pregunta específica: ¿Qué está ubicado en?, es decir qué clase de objetos o hechos están, o suceden, en el territorio que se analiza.
- El segundo nivel de complejidad, es el que incluye el principio de condición (¿Dónde está?). Determina las porciones del territorio que cumplen con una condición específica o una propiedad definida.
- El tercer nivel corresponde al tipo de análisis que se puede hacer a partir de un seguimiento a través del tiempo: ¿Cómo ha cambiado? , es decir la evolución de los objetos o los hechos dentro de un lapso de tiempo establecido.
- El cuarto nivel le corresponde la aplicación de una serie de funciones relacionadas con el análisis de redes dentro de un SIG. En este caso se refiere a la solución de la pregunta ¿Cuál es el mejor camino y/o sitio?, entendiendo como mejor, el que cumpla adecuadamente los requerimientos establecidos para la solución del problema.
- El nivel cinco permite describir y comparar el patrón o arreglo espacial de objetos y hechos, es decir, su distribución espacial, y a partir de esto entender cuáles son los procesos que lo condicionan ¿Cuál es el patrón del fenómeno?
- El nivel seis presenta la posibilidad de tener mayor complejidad de análisis. Con la aplicación de modelos se obtiene la respuesta a un fenómeno específico, al definir, en función de las tendencias de las variables definitorias, la respuesta a la pregunta: ¿Qué va a pasar sí?

Cuando se aplica adecuadamente, la tecnología de los SIG forma parte de un conjunto de herramientas útiles en los procesos de análisis espaciales de objetos y fenómenos de diversa índole (López, 2005).

1.3.4 La geografía y los SIG

El análisis geográfico, realizado desde un punto de vista cuantitativo, tuvo un continuo desarrollo desde hace medio siglo y a través de su incorporación a la tecnología de los SIG se ha convertido en una herramienta fundamental para la toma de decisiones en materia de análisis territorial.

Enmarcados en la geografía como ciencia social, la incorporación de procedimientos matemáticos y estadísticos a la investigación científica no solo ha presentado un avance metodológico, sino principalmente se ha establecido como una manera específica que permite pensar la realidad.

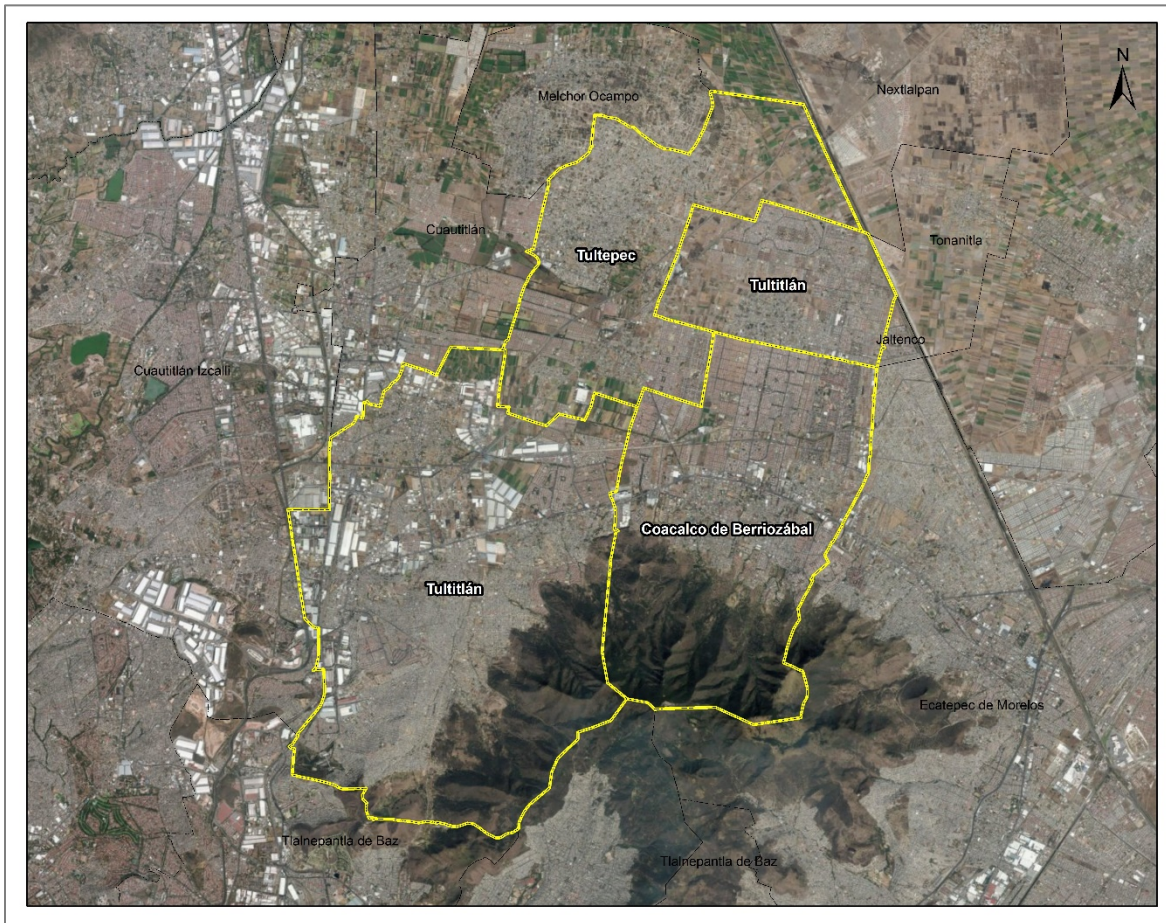
Cuando se lo aborda desde un punto de vista temático, al interior de la geografía el análisis espacial es entendido como la aplicación de un conjunto de técnicas estadísticas y matemáticas a datos distribuidos sobre el espacio geográfico. Cuando se lo aborda desde un punto de vista tecnológico, se lo considera el componente central de los SIG, como sinónimo del subsistema de tratamiento, ya que posibilita aplicar procedimientos que permiten estudiar las relaciones espaciales de las entidades contenidas en la base de datos geográfica.

El análisis geográfico se presenta en la escala humana, la ciencia que lo sustenta conceptualmente es la geografía y la tecnología que permite principalmente su aplicación son los SIG, una tecnología informática que, desde un punto de vista sistémico, posibilita la obtención, almacenamiento, tratamiento y reporte de datos espaciales para el apoyo en la toma de decisiones territoriales.

En un primer momento, el uso de los SIG se realiza con la finalidad de producir un inventario digital que lleve a la generación de mapas temáticos de las variables utilizadas. En esta instancia se apela a su definición más simple, orientada a su contenido como base de datos computacional que contiene información georreferenciada. Procedimientos desarrollados en el ámbito de la cartografía temática serán los utilizados para la realización de un primer análisis, el de las distribuciones espaciales (Buzai y Baxendale, 2013).

La puesta en práctica de los SIG lleva a vincular el análisis geográfico con la realización de diagnósticos parciales, en los cuales serán estudiadas variables físicas y sociales. Los conceptos centrales estarán apoyados por procedimientos metodológicos precisos y la etapa de síntesis aparece tanto en la integración de resultados como de diagnósticos hacia una visión global del sistema territorial.

Capítulo 2. Características Geográficas del Área de Estudio



Mapa 2. Vista satelital de la zona de estudio en el año 2017. Fuente: Elaboración propia.

Se ha asumido que el proceso de investigación científica representa el tratamiento analítico, de forma sistemática, de un área de la realidad, o de un área del conocimiento, en base a unos postulados integrados en un cuerpo de teoría. Se parte de la idea de la existencia de una estructura durable en la que los elementos que la componen se hallan articulados a través de unas leyes que conforman un sistema.

Al aceptar que la geografía es una ciencia, se presupone que está constituida por un conjunto de variables (elementos o factores), las cuales pueden ser relacionadas funcionalmente conformando un sistema. Este sistema a su vez se articula en una estructura durable que evoluciona a través de un proceso dialéctico, lo cual permite establecer los vínculos internos al conjunto, en forma de un bloque de leyes entroncadas en un cuerpo de teoría. En nuestro caso se tratará de una teoría del espacio geográfico.

Consideraremos al espacio formado por un conjunto articulado de elementos físicos interactivos que pueden adoptar diversas formas según cual sea la estructura social

dominante. Es posible aproximarse al conocimiento de la articulación siguiendo una doble línea de análisis: desde la vertiente estructural considerando cortes sincrónicos que presenten el estado del espacio en un momento dado; desde una perspectiva sistémica analizando su papel como factor en interrelación tanto con el resto de la sociedad, como en su evolución interna.

A sucesivos momentos corresponderán sucesivos espacios sociales, habiéndose iniciado el proceso a partir de un espacio natural originario correspondiente al momento. Las transformaciones serán consecuencia resultante de la actuación combinada del ciclo de la naturaleza y de la acción humana articulada en un sistema-estructura propio de cada momento. Cabe señalar que el tiempo no es en sí mismo un factor de cambio, sino que es la posibilidad de cambio, el que permite el movimiento y la transformación.

En base a lo anterior, la tarea científica que se emprenderá será la de jerarquizar y valorar el grado de dependencia o interdependencia entre ambos ámbitos (físico y social), a partir del establecimiento de una teoría del sistema-estructura (la teoría del espacio) y de las leyes estructurales (jerarquización) y sistémicas (valor, dirección, sentido, etcétera) de y entre los factores (Eugeni Sánchez, 1991).

2.1 Municipio de Coacalco

2.1.1 Localización

Coacalco de Berriozábal es un municipio asentado en la región administrativa conocida como Valle Cuautitlán-Texcoco dentro del Estado de México. La región observa una altura media de 2 500 metros sobre el nivel del mar (msnm) y cuenta con una extensión de 35.5 km². El municipio se localiza al centro-norte del estado de México; colinda al norte y noreste con los municipios de Tultitlán y Tultepec, al sur y sureste con el municipio de Ecatepec y el Distrito Federal (Mapa 3).

Las coordenadas geográficas de localización son latitud norte 19° 37´ 16" y longitud oeste 99° 05´ 00". La distancia entre el municipio y Toluca, capital del estado de México, es aproximadamente de 85 Km (Gobierno de Coacalco, 2016).

2.1.2 Orografía

Se caracteriza por un sistema montañoso con asentamientos humanos en el pie de monte y por una planicie, misma que ha ido ganando terreno al uso de suelo agrícola y forestal. La parte plana al norte del municipio tiene una altura aproximada de 2 238 msnm y la otra elevada al sur municipal registra una altura cercana a los 3 000 msnm, identificada como la Sierra de Guadalupe (Mapa 4).

Entre las principales elevaciones del municipio se identifican el Picacho o Cuatepec (cerro del águila) con una altura de 2 850 msnm y el cerro de María Auxiliadora (Xolotl) con 2 450 msnm; asimismo se distinguen el Pico de Moctezuma y el Pico de Tres Padres.

La superficie donde se asienta Coacalco registra 35.71 km², misma que observa una pendiente hacia el norte, desde el extremo sur hasta casi la mitad del territorio donde inicia el Valle Cuautitlán-Texcoco. La Sierra de Guadalupe es la parte geológica más importante de Coacalco, además de estar declarada como zona de reserva ecológica (Gobierno de Coacalco, 2016).

2.1.3 Hidrología

El agua potable del municipio de Coacalco se obtiene de 21 pozos profundos, así como de la red del sistema Cutzamala (Mapa 5). Coacalco se localiza en la región hidrológica 26, en la Cuenca del Alto Pánuco, perteneciente a la vertiente del Golfo de México. Por el municipio no cruzan ríos importantes, sólo es posible observar algunas bajadas de agua que se forman en temporada de lluvia, por los escurrimientos de la Sierra de Guadalupe (Gobierno de Coacalco, 2016).

2.1.4 Clima

En el municipio predomina un clima templado subhúmedo (Mapa 6). Durante el año se observa un promedio de 40 días con heladas, entre 600 y 800 milímetros de lluvia al año, así como una temperatura promedio de 14°C, con mínima de 2°C y máxima de 26°C entre los meses de junio y septiembre (Gobierno de Coacalco, 2016).

2.1.5 Edafología

El origen del sustrato geológico del Valle es sedimentario. Se compone de aluviones como son rocas sedimentarias de arenisca entremezclada con tobas volcánicas. Los aluviones se formaron por el acarreo pluvial de los sedimentos de las partes altas de la Sierra de Guadalupe, que al mismo tiempo dio origen a la formación de lomeríos (Mapa 7).

Los tipos de suelo que se identifican en Coacalco se componen por asociaciones edáficas, principalmente: el vertisol pélico, de fase sódica y textura gruesa localizada en la parte plana; y el feozem aplico y calcáreo de textura media ubicada en las zonas altas y media del municipio. El tercer tipo de suelo en el municipio es el zolanchak. Cabe observar que el tipo de suelo en la zona plana de Coacalco presenta problemas para la construcción, toda vez que cuando se humedece se expande y cuando se seca se contrae (Gobierno de Coacalco, 2016).

2.1.6 Vegetación y Fauna

Si bien el acelerado proceso de urbanización transforma el entorno municipal, todavía se pueden encontrar plantas de tipo xerófilas, que resisten la escasez de agua, como son agaves, cactáceas, opuntias, hiervas comestibles, *amaranthus hybridus* y *chenopodium*; así como también *eysenhardtia polystachya*, *uncaria tomentosa*, acacias, entre otros más. Asimismo, se puede encontrar pastizal inducido y árboles como encino, pirul, eucalipto, fresno, pino y cedro; este último como reforestación (Mapa 8).

Con relación a la fauna silvestre, se encuentra principalmente en la parte alta de la Sierra de Guadalupe; sin embargo, se puede observar en el valle ardeidas que llegan en pequeñas parvadas a los grandes baldíos, además de *streptopelias risoria*, colúmbidas y paséridos, al igual que algunos roedores de campo. De igual modo, se pueden observar mamíferos como los *oryctolagus cuniculus*, los *sciuridae* y los geómidos; aves como estrigiformes, *mimus* y andorinas; y reptiles como serpientes, escorpiones, *chamaeleonidae*s y *liolaemus* (Gobierno de Coacalco, 2016).

2.1.7 Población

El número de habitantes en el municipio de Coacalco para el año 2015 sumaba 284 462 personas que comparados con los 278 064 censados en el año 2010 significan 6 398 habitantes más y que la población presenta una tasa media de crecimiento anual (TCMA) del 2.3% en los últimos cinco años. La población que se encuentra en el rango de 15 y 64 años representa el 71.6% de la población, mientras que los habitantes entre 5 y 14 años representan el 14.8%, es decir la suma de estas dos grandes grupos representan el 86.4% de la población (Gobierno de Coacalco, 2016).

2.1.8 Economía

La economía de Coacalco ha cambiado en los últimos 30 años, al pasar de ser un municipio de tendencia industrial, a uno de importancia comercial. La llegada de grandes grupos de personas a los núcleos de población ha provocado que la ciudad haya abandonado su vocación agropecuaria.

En el municipio de Coacalco las actividades agrícola, ganadera y forestal ocupan población en el sector primario, siendo empleados u obreros la principal situación laboral. No obstante, se trata de un sector con escasa ocupación en todo Coacalco, y se estima que apenas el 0.3% de la Población Económicamente Activa (PEA) total en el municipio labora en este sector.

En Coacalco la transformación de la electricidad y el agua, así como la construcción y la industria manufacturera son las actividades del sector secundario que en suma ocupan el 26.2% de la PEA total en el municipio. Las actividades económicas terciarias

agrupan distintos tipos de servicios, el comercio, los transportes, las comunicaciones y los servicios financieros. Se estima que el 69% de toda la PEA del municipio vive de alguno de los servicios registrados en el sector terciario (INEGI, 2016).

2.2 Municipio de Tultepec

2.2.1 Localización

El municipio de Tultepec se localiza en la parte norte del estado de México, sus coordenadas geográficas son de 19°41' latitud norte y 99°08' de longitud oeste; cuenta con una extensión de 27.40 km² y se encuentra a una altura de 2 280 msnm (Mapa 3).

Limita al norte con los territorios de los municipios de Melchor Ocampo y Jaltenco; al sur con territorios de los municipios de Tultitlán y Coacalco de Berriozábal.; al oriente con territorios de los municipios de Tultitlán y Coacalco de Berriozábal y Jaltenco; y al poniente con territorios de los municipios de Melchor Ocampo, Cuautitlán y Tultitlán (Gobierno de Tultepec, 2016).

2.2.2 Orografía

El municipio de Tultepec pertenece a la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico, subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, de hecho el Valle Cuautitlán-Texcoco estaba ocupado en gran parte por los Lagos de Texcoco, Zumpango y Xaltocan, éste último ocupaba la parte sur y este del municipio, el resto del municipio correspondía a un antiguo islote (Cerro Ostotépetl), que es donde se asienta la actual Cabecera Municipal (Mapa 4).

El territorio por ubicarse dentro del Valle de México no presenta accidentes o elevaciones montañosas, siendo los terrenos planos; cabe mencionar que la única elevación de importancia se localiza al norte, la cual se denomina Cerro Ostotépetl (Gobierno de Tultepec, 2016).

2.2.3 Hidrología.

El municipio de Tultepec forma parte de la región hidrológica No. 26 denominada Pánuco, cuenca del Río Moctezuma y subcuenca Lago Texcoco y Zumpango. Dentro del territorio no existen corrientes superficiales naturales, solo existen cinco canales que conducen aguas residuales y son utilizados para el riego agrícola (Mapa 5).

En lo referente a la hidrología subterránea, los materiales geológicos son altamente permeables lo que permiten la recarga de acuíferos. Gracias a esta condición la explotación del acuífero ha sido intensiva, al igual que en el resto de la Cuenca de México, desde Julio de 1954 se estableció una veda rígida prohibiendo la apertura de nuevos pozos. El agua que abastece a la población proviene de 15 pozos, 6 ubicados en la zona centro-sur y 9 en la zona nororiental (Gobierno de Tultepec, 2016).

2.2.4 Clima

El tipo de clima en el municipio es templado subhúmedo con lluvias en verano; la oscilación térmica a lo largo del año fluctúa entre los 5°C y 7°C, la marcha de temperatura es tipo Ganges donde el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano. La temperatura media anual es 16.23°C, el mes más caluroso es junio con 18.9°C, y el más frío enero con 12.6°C, de temperatura media mensual (Mapa 6).

En lo que se refiere a la precipitación, se registra un promedio de 597.64 mm de lluvia al año. El mes más lluvioso es julio con 142.51 mm, y el más seco diciembre con solo 3.08 mm (Gobierno de Tultepec, 2016).

2.2.5 Edafología

Los suelos más abundantes en el municipio de Tultepec según la clasificación FAO/UNESCO son:

Vertisol pélico (Vp), se localiza en la parte sur y noreste del municipio, presenta una textura fina y con un alto contenido de arcillas; feozem calcárico (Hc) domina en la parte norte del municipio, presenta una textura media; feozem háplico (Hh), se localiza al sureste, y presenta una textura fina; regosol calcárico (Rc), ocupan una pequeña porción en la parte alta del Cerro Ostotépetl, son suelos de baja fertilidad; y Cambisol cálcico (Bk), se localiza en la parte noreste y tienen una capa superficial oscura, rica en materia orgánica y nutrimentos (Gobierno de Tultepec, 2016) (Mapa 7).

2.2.6 Vegetación y fauna

La fauna predominante es de aves migratorias, urracas comunes, coragyps atratus (en peligro de extinción), mefitidos y canis. La vegetación es también variada destacando los eucaliptus, el salix alba, el prunus salicifolia, la crataegus mexicana, hederas y pastos, entre otros (Mapa 8).

Es importante señalar que los ecosistemas están siendo extinguidos a causa de las muchas unidades habitacionales que en el municipio se llevan a cabo. Las zonas verdes son cada día más escasas pero aún se puede gozar de ellas en algunos sitios del municipio (Gobierno de Tultepec, 2016).

2.2.7 Población

La población total del municipio es 150 182 habitantes, de los cuales 77 014 corresponde a mujeres (51.3 %) y 73 168 a hombres (48.7%). La densidad de población ascendió ya a 5 481 habitantes por kilómetro cuadrado, lo que significa que el municipio es predominantemente urbano. Del total de la población se estima que el 98% se asienta en localidades urbanas y el restante aún se considera como población rural.

Tultepec cuenta con 108 625 habitantes mayores de 15 años. El promedio de la tasa de crecimiento media anual (TCMA) del municipio, a partir de 1970 y hasta el año 2015, mantiene un crecimiento acelerado con relación a la del Estado de México, registrando el 7.06% para el municipio y el 3.8% para el Estado (Gobierno de Tultepec, 2016).

2.2.8 Economía

Dentro del municipio de Tultepec la Población Económicamente Activa (PEA) está integrada por 57 157 habitantes lo que representa el 38% de la población total del municipio y que basándose en la información estadística del último Censo de Población, señala que 95.2% pertenecen a la PEA ocupada. De estos el 61.4% se encuentra ocupado en el Sector Terciario, el 38.1% se encuentra ocupado en el Sector Secundario y el 0.5% en el Sector Primario (INEGI, 2016).

2.3 Municipio de Tultitlán

2.3.1 Localización

El municipio de Tultitlán, cuenta con una extensión territorial de 71.1 km², siendo su cabecera municipal, Tultitlán de Mariano Escobedo. Las coordenadas geográficas del municipio son 19° 39' latitud norte y 99° 10' de longitud oeste, con una altitud promedio de 2 240 msnm (Mapa 3).

El municipio de Tultitlán se localiza en la porción nororiente del Estado de México colindando con los municipios de: Tultepec, Cuautitlán, al norte; con Tlalnepantla, y el Distrito Federal (específicamente la delegación Gustavo A. Madero), al sur; con Jaltenco, Coacalco, Ecatepec y Nextlalpan al oriente; y con Cuautitlán Izcalli al poniente (Gobierno de Tultitlán, 2016).

2.3.2 Orografía

La gran mayoría del territorio municipal está ocupado por una planicie, que tiene un ligero declive de poniente a oriente. El extremo poniente del municipio se encuentra a una altura promedio de 2 248 metros sobre el nivel del mar, y su zona noreste que es la más baja está a 2 238. La parte más alta se localiza al sur, en la sierra de Guadalupe. La cumbre más alta de la sierra dentro del municipio es el cerro Tamazólac (Mapa 4).

Tultitlán se encuentra ubicado en el eje Neovolcánico y forma parte de la Subprovincia de Lagos y Volcanes de Anahúac. El 70% del territorio es una planicie y en el resto se localizan algunas sucesiones de lomeríos con cañadas y depresiones. La Sierra de Guadalupe presenta una altitud de 2 950 msnm (Gobierno de Tultitlán, 2016).

2.3.3 Hidrología

En la actualidad el municipio no cuenta con ríos, arroyos o presas, sino solamente con algunos canales de riego. Entre los principales están los llamados Cartagena, Mariscala y Castera, los cuales conducen aguas residuales. Los dos primeros sus aguas son utilizadas para el riego de algunas áreas agrícolas (Mapa 5).

Tultitlán pertenece a la región hidrológica No. 26 denominada Alto Panuco, subcuenca Río Moctezuma. Las corrientes superficiales se limitan con arroyos intermitentes que se originan en la Sierra de Guadalupe, estas corrientes están agrupadas en tres subcuencas: la primera es Arroyo el Tesoro y la Huerta; la segunda, Arroyo Hondo y Ojo de Agua y, la última es la subcuenca Arroyo Mariscala y los Chiqueros (Gobierno de Tultitlán, 2016).

2.3.4 Clima

En Tultitlán predomina un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, tiene una temperatura media anual de 15.6°C, que no varía de la temperatura media anual para el Estado de México, que es de 15.2°C; el mes más caliente es en junio con 18.1°C, en comparación la temperatura máxima para el Estado de México, que son en los meses de abril y mayo, con una temperatura de 25.5°C; la temperatura más fría se registra en el mes de diciembre con 12.5°C (Mapa 6).

La precipitación pluvial es de 642.28 mm, con un régimen de lluvias en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre, presentando precipitaciones de 129.72 a 97 mm, mientras que los meses más secos son de diciembre a febrero (Gobierno de Tultitlán, 2016).

2.3.5 Edafología

Los suelos más abundantes en el municipio de Tultitlán según la clasificación FAO/UNESCO son:

Phaeozem háplico, son los que ofrecen más ventajas para el cultivo agrícola. En las planicies, estos suelos presentan problemas de drenaje; Vertisol, son suelos que contienen mucha arcilla, se caracterizan por presentar grietas anchas y profundas, en la época de secas y con la humedad se vuelven pegajosos Presentan problemas de manejo para su utilización en la agricultura; sin embargo son suelos. Se encuentran principalmente en áreas bajas y de lomeríos; dispersivos, se caracterizan por ser altamente erosionables en presencia de agua, propiciando la formación de pequeños canales que dan lugar a la formación de fallas, las cuales propician hundimiento cuando hay construcciones sobre ellos; y acrisol, son suelos pobres en nutrientes minerales y tiene una alta susceptibilidad a la erosión (Gobierno de Tultitlán, 2016) (Mapa 7).

2.3.6 Vegetación y fauna

La flora en el municipio de Tultitlán está representada por dos tipos de ecosistemas los cuales son de origen natural, modificados o no por la actividad humana y los de origen antropogénico, fundamentalmente creados a partir de la plantación de especies introducidas. Aunque la vegetación es variada predominan los quercus, el matorral y amplias zonas de pastizal, de los recursos florísticos, destacan: el schinus molle, árnica, tagetes lucida, cactáceas y aloe (Mapa 8).

La fauna, principalmente asentada en el Parque Estatal Sierra de Guadalupe, está integrada por especies de vertebrados silvestres, entre los que destacan; de los anfibios, anuros; de los reptiles, liolaemus, adelphicos nigrilatum, pituophis deppei y crotalus durissus; de las aves, falco sparverius, geococcyx californianus, pteroglossus torquatus, yoxostoma y passeridae. De los mamíferos destacan marmosa mexicana, quirópteros, dasipódidos, ictidomys mexicanus, canis latrans, mustela nivalis y lynx rufus (Gobierno de Tultitlán, 2016).

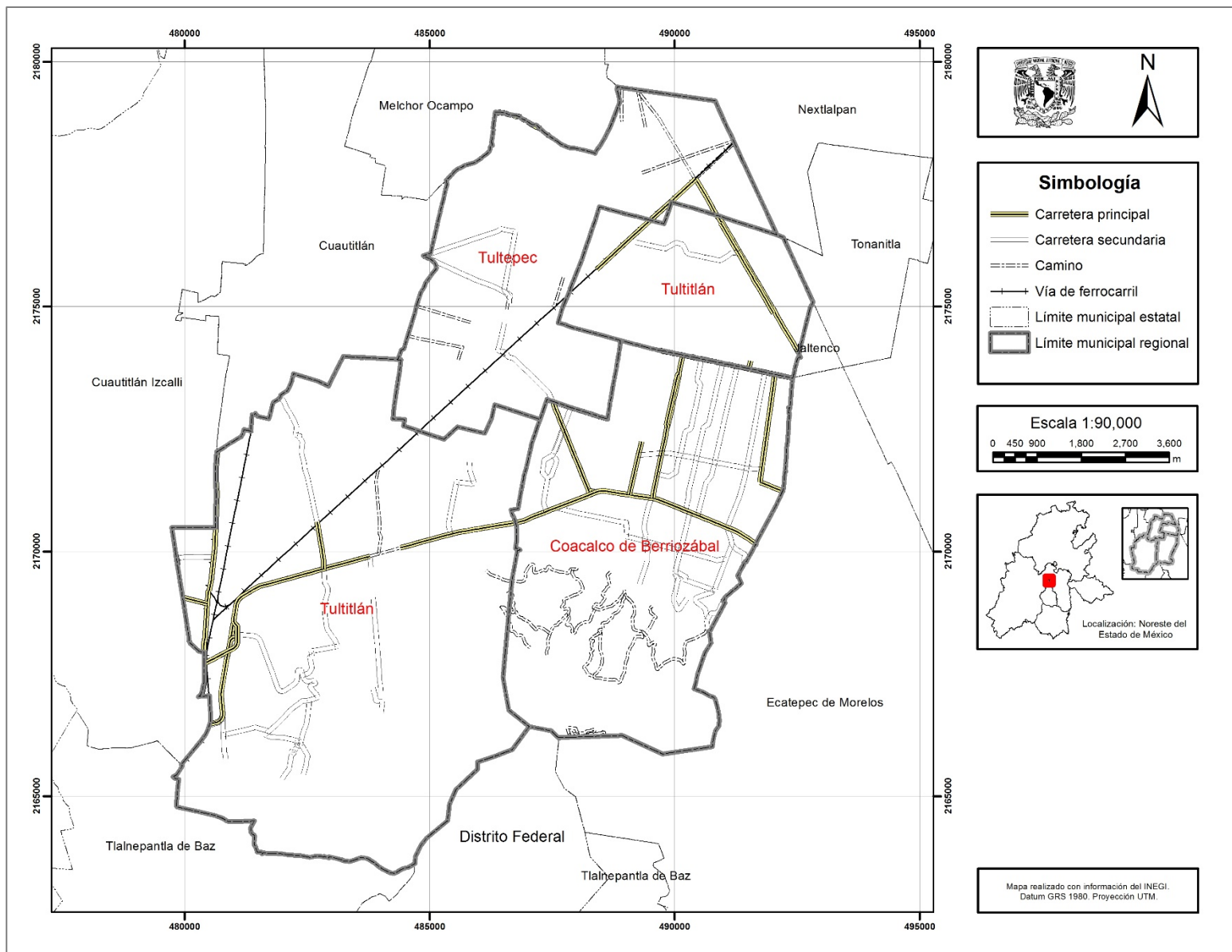
2.3.7 Población

La población total del municipio de Tultitlán es de 520 557 personas, de las que 267 602 son mujeres (51.4%) y 252 955 son hombres (48.6%). Su densidad poblacional es de 7 358 habitantes por kilómetro cuadrado. El 30% de los habitantes son infantiles (0 a 14 años), mientras que en el rango considerado como jóvenes (15-29 años) equivale al 26% del total de habitantes. Los adultos mayores (65 años y más) comprenden el 6% de la población, dejando a la población adulta (30-64 años) con el 38% restante (Gobierno de Tultitlán, 2016).

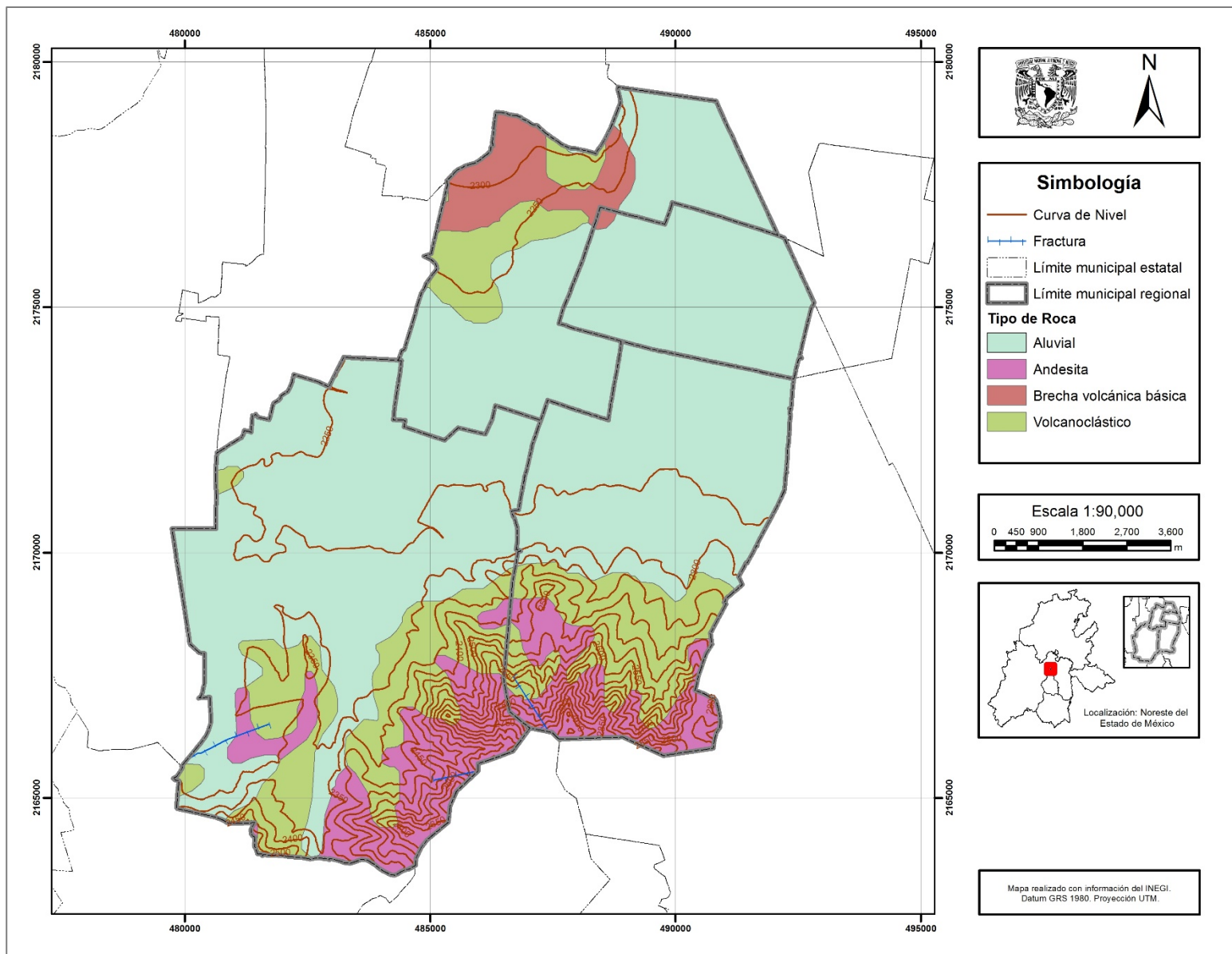
2.3.8 Economía

En el municipio de Tultitlán en 2005 se tenía una Población Económicamente Activa (PEA) del 44.3% y para el año 2010 hay un crecimiento, al ser el 52.2% de nuestra población, el cual es superior a la población económicamente activa del Estado de México para el mismo año, que es del 49.9%.

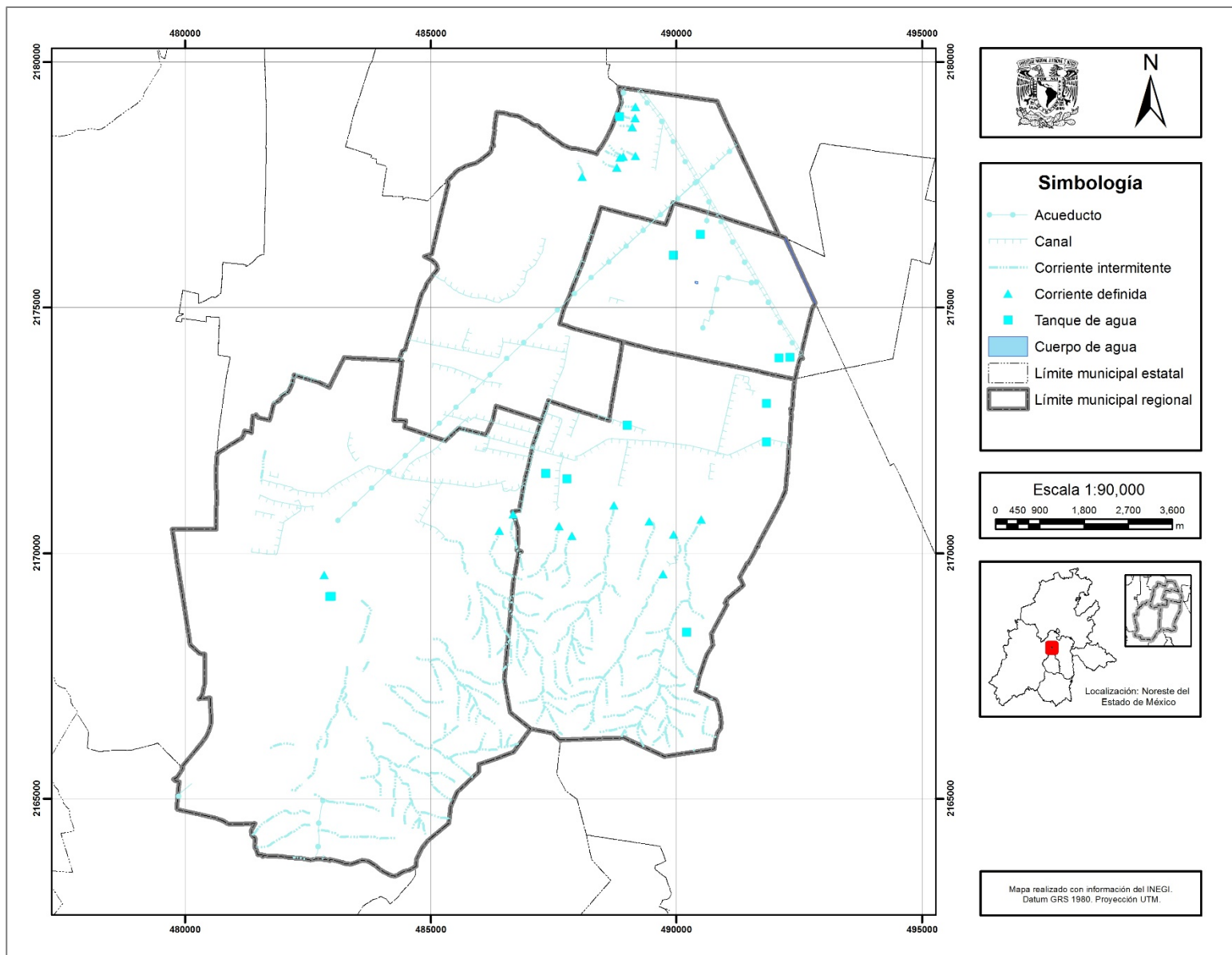
La PEA en el municipio se divide de la siguiente manera: el 0.4% se concentra en el sector primario; para el sector secundario tenemos que la población económicamente activa es del 37.9%; y en el sector terciario se cuenta con una PEA de 61.7% (INEGI, 2016).



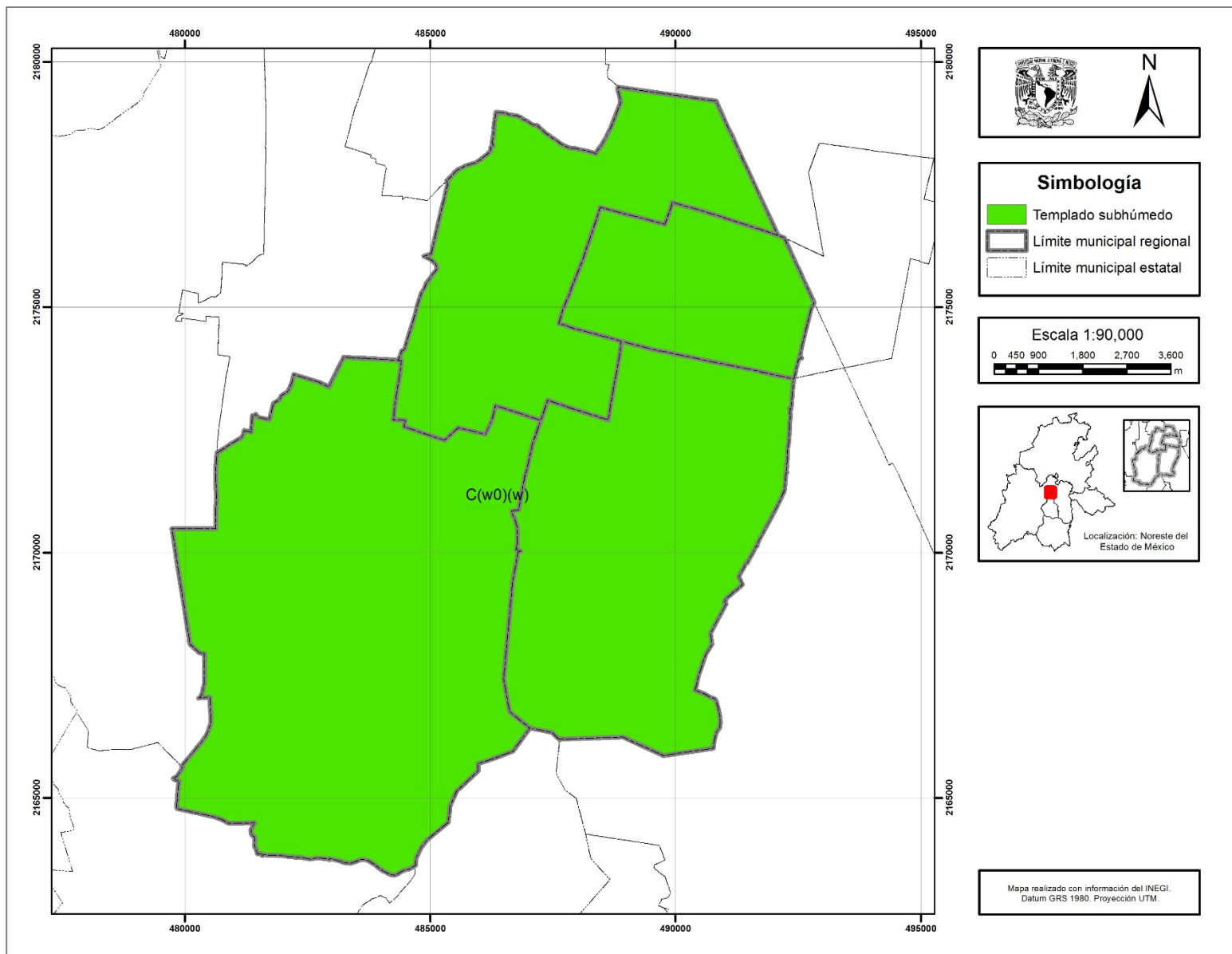
Mapa 3. Ubicación de los municipios de Coahuila, Tultepec y Tultitlán. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.



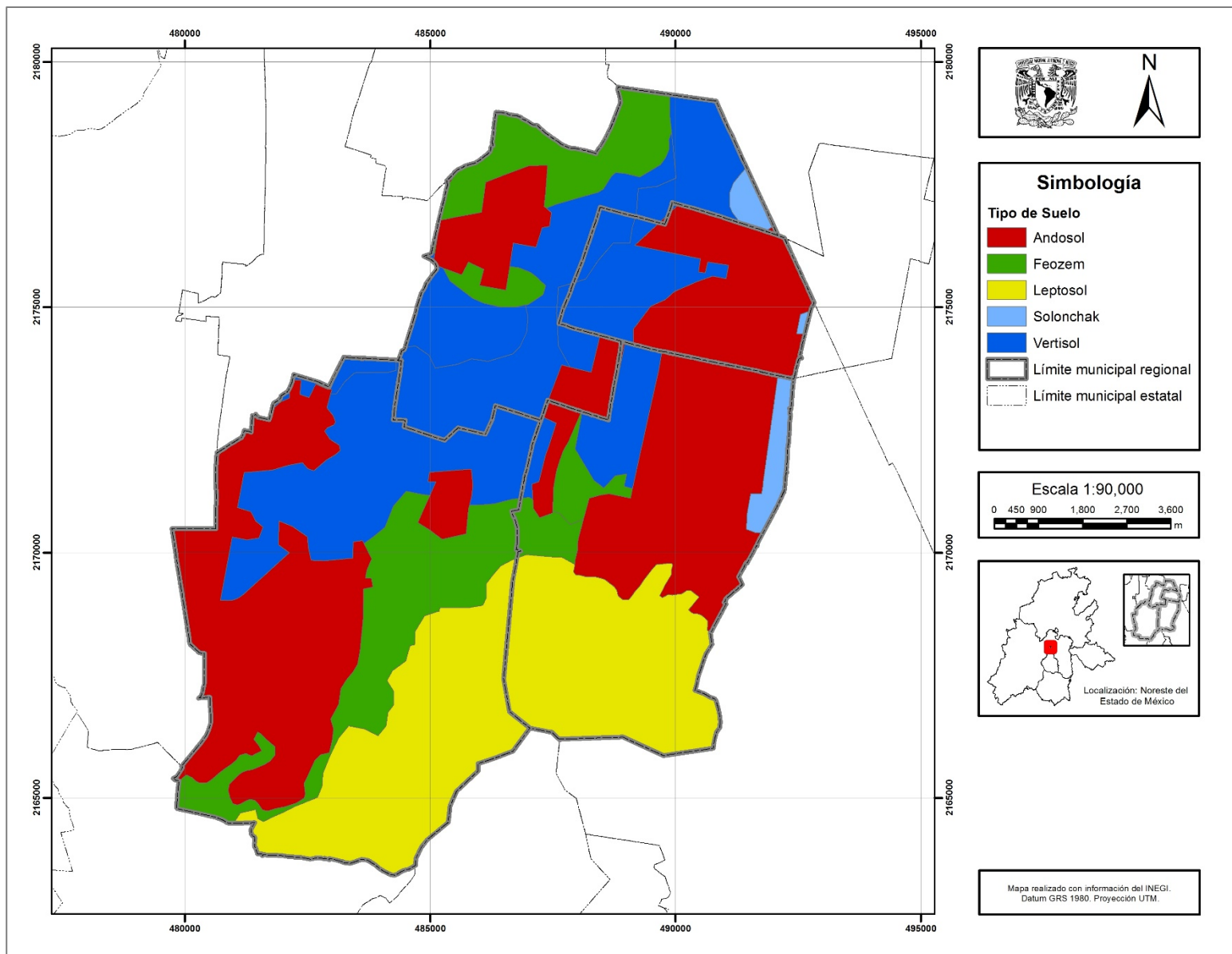
Mapa 4. Orografía de los municipios de Coacalco, Tultepec y Tultitlán. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.



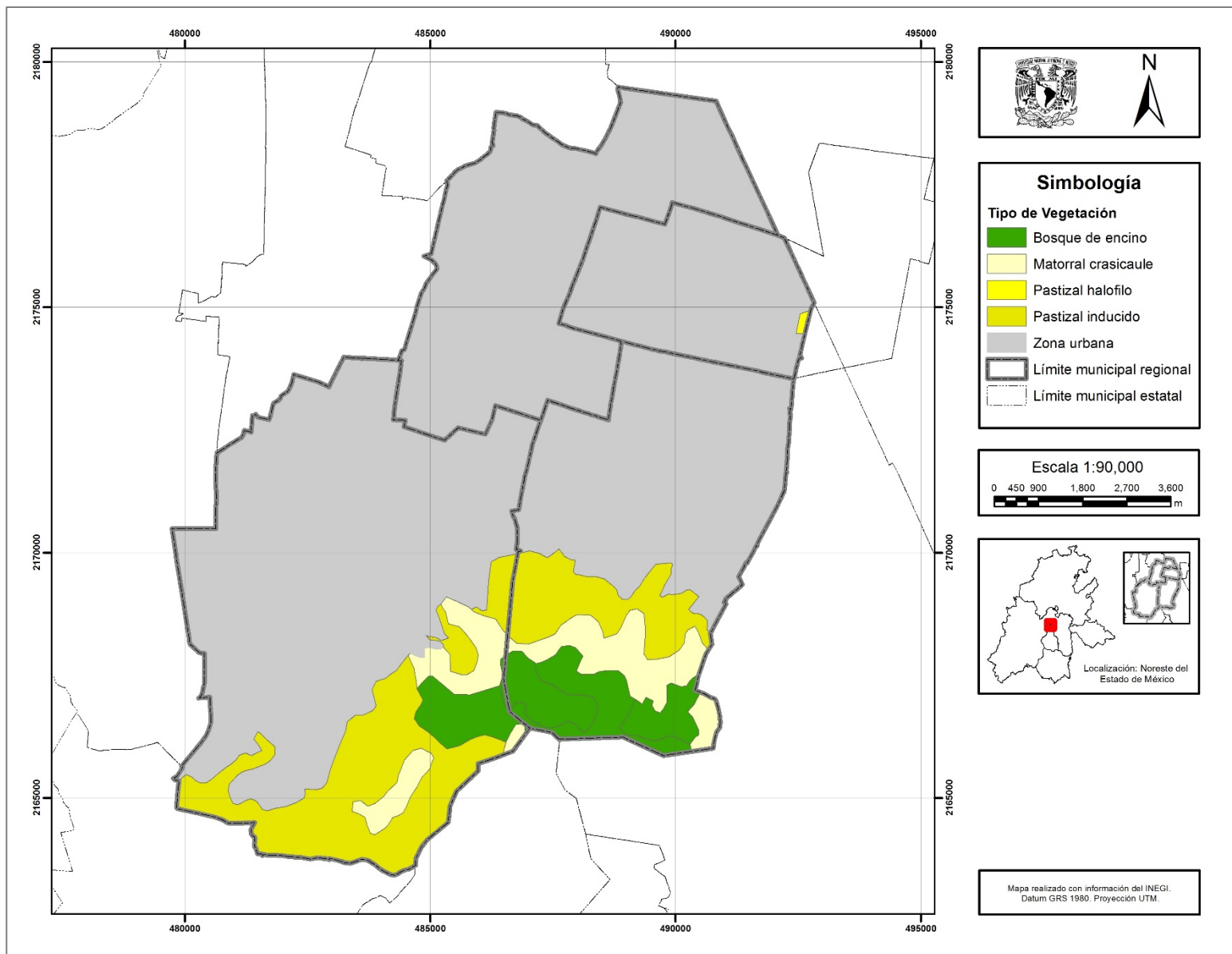
Mapa 5. Hidrología de los municipios de Coacalco, Tultepec y Tultitlán. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.



Mapa 6. Clima de los municipios Coacalco, Tultepec y Tultitlán. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.



Mapa 7. Edafología de los municipios Coacalco, Tultepec y Tultitlán. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.



Mapa 8. Vegetación y fauna de los municipios Coacalco, Tultepec y Tultitlán. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.

Capítulo 3. Materiales y Métodos Empleados

La detección de cambios que acontecen en la superficie terrestre y su variación a lo largo del tiempo obedece a una gran cantidad de fines: estudios económicos, medioambientales, sociales, geoestratégicos, de planificación sectorial, como fuente de información y de diagnóstico territorial, como elemento clave en la toma de decisiones, etcétera. Novedosas herramientas, como los SIG y los sensores remotos, permiten identificar, describir, cuantificar y monitorear variedad de patrones en el espacio geográfico a través de imágenes, basándose en la clasificación de coberturas y valiéndose de los valores espectrales que representa un píxel.

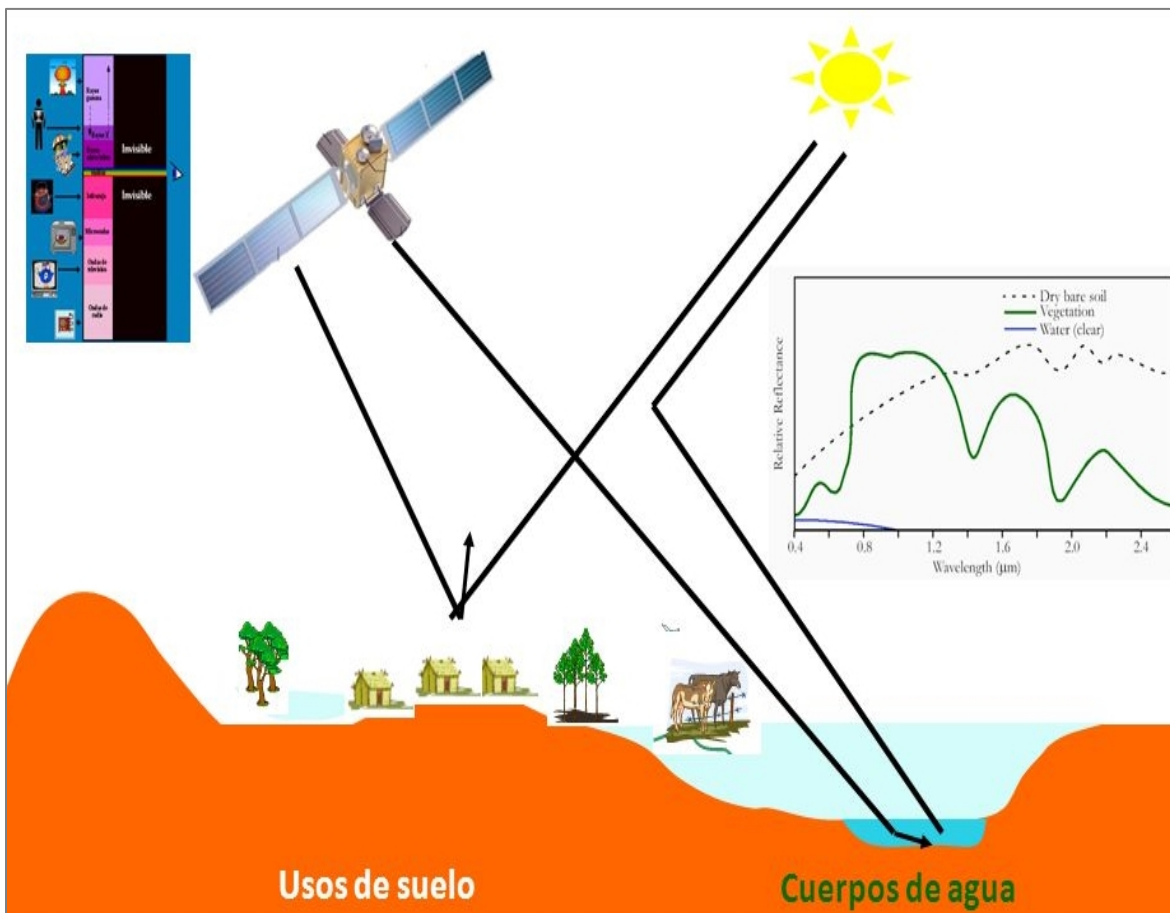


Figura 9. Ejemplificación de la Percepción Remota. Fuente: Recuperado de www.diccionariomedioambiente.org

3.1 Procesamiento de las Imágenes

Las imágenes de sensores remotos, como las fotografías aéreas y las imágenes de satélite, son de gran utilidad por mostrar en forma directa y clara los rasgos de la superficie terrestre, por lo que además de ser la fuente básica de la información cartográfica, pueden utilizarse directamente en diversas aplicaciones.

Con el propósito de conocer la realidad territorial en la zona de estudio y abarcar los tres municipios que comprenden a la región en un solo marco, se obtuvieron ortofotos digitales proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para dos fechas de análisis (1994 y 2007) y una imagen de satélite LandSat 8 descargada desde la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés).

Para delimitar el área de estudio, se adquirió información vectorial (conjunto de datos vectoriales escala 1:250 000) producida por el INEGI.

3.1.1 Características de la ortofoto digital

La Ortofoto es una presentación fotográfica de una zona en la superficie terrestre, donde todos los elementos presentan la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico. Es una imagen corregida geoméricamente trasladándole de una proyección central a una proyección ortogonal y referida dentro de un marco cartográfico. Ellas tienen la particularidad de mostrar los objetos en su verdadera posición ortogonal, característica que hace posible la determinación de distancias, ángulos y áreas.

Una ortofoto se consigue mediante un conjunto de imágenes aéreas (tomadas desde un avión o satélite) que han sido corregidas mediante procesos fotogramétricos, para representar una proyección ortogonal sin efectos de perspectiva, y por lo tanto es posible realizar mediciones exactas. A este proceso de corrección digital se le llama ortorectificación. Por lo tanto, una ortofoto u ortofotografía (Figura 9) combina las características del detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano (INEGI, 2015).



Figura 10. Ortofoto digital escala 1:20,000. Fuente: INEGI.

Para el análisis multitemporal la información de partida proviene, en el primer caso, de ortofotos elaboradas a partir de fotografías aéreas a blanco y negro escala 1:75 000 obtenidas en julio de 1994. La escala de estas ortofotos es de 1:20 000 con un área de cubrimiento aproximado de 164 Km², con dimensiones de imagen compuestas por 5 875 columnas y 6,975 renglones y con una precisión de 2 metros de pixel (resolución espacial). Cuentan con una proyección UTM (Universal Transversa de Mercator) zona 14 norte, clave de la carta E14A29, con datum NAD 27 (North American Datum de 1927) referenciado al elipsoide de Clarke de 1866.

Para el segundo caso las ortofotos se realizaron a partir de fotografías aéreas a color escala 1:40 000 conseguidas en abril de 2007. La escala de estas ortofotos es de 1:10 000 con un área de cobertura aproximada de 82 Km², con dimensiones de imagen de 5 881 columnas y 6 971 renglones y con un detalle de 1 metro de pixel. Cuentan con una

proyección UTM de la zona 14 norte, clave de la carta E14A29, con un datum ITRF 92 referenciado al elipsoide GRS 80 (INEGI, 2017).

3.1.2 Homologación geográfica de ortofotos

Las ortofotos digitales proporcionadas por el INEGI cuentan de manera predeterminada con un sistema de coordenadas de referencia (proyección, datum y elipsoide), es decir, cada pixel de la imagen ya se encuentra georreferenciado (tienen coordenadas x, y, z precisas). Debido a que las ortofotos a utilizar son de años y zonas geográficas diferentes el sistema de referencia varía en cada una de ellas, por lo que es necesario homologarlo y estandarizarlo para poder contar con información geográfica precisa y concordante y lograr así combinar cada ortofoto con otro tipo de capas en un entorno SIG y evitar más adelante errores de localización y medición.

Para cada ortofoto se realizó un cambio de referencia cartográfica a la zona 14 norte del sistema Universal Transversal de Mercator (UTM), utilizando el datum ITRF 92 basado en el elipsoide GRS 80 sin modificación alguna de la resolución de pixel original, logrando de esta manera unificar el sistema de coordenadas de todas las ortofotos que van a ser empleadas durante el proceso de análisis. Este procedimiento se llevó a cabo en ArcGIS versión 10.2, desarrollado por la empresa estadounidense ESRI, en el módulo *Define Projection*.

3.1.3 Generación del mosaico y recorte de ortofotos

Una vez que las ortofotos tuvieron el mismo sistema de georreferencia, se realizó un mosaico de las imágenes que cubren el área de estudio por cada año, uniéndolas con el módulo *Mosaic to New Raster* de ArcGIS 10.2. Cabe señalar que los datos de entrada deben contener las mismas escalas, dimensiones y resolución de pixel; en caso contrario la herramienta producirá un error. Estas imágenes corresponden a la carta topográfica E14A29 (Cuautitlán) escala 1:50 000 y sus características generales se muestran a continuación en la Tabla 2.

No	Clave	Escala	Datum	Resolución	Tipo	Año	Formato
1	E14A29b	1:20,000	NAD 27	2.0	B y N	1994	Bil
2	E14A29c	1:20,000	NAD 27	2.0	B y N	1994	Bil
3	E14A29e	1:20,000	NAD 27	2.0	B y N	1994	Bil
4	E14A29f	1:20,000	NAD 27	2.0	B y N	1994	Bil
9	E14A29b2	1:10,000	ITRF 92	1.0	Color	2007	Bil
10	E14A29b3	1:10,000	ITRF 92	1.0	Color	2007	Bil
11	E14A29b4	1:10,000	ITRF 92	1.0	Color	2007	Bil
12	E14A29c1	1:10,000	ITRF 92	1.0	Color	2007	Bil
13	E14A29c3	1:10,000	ITRF 92	1.0	Color	2007	Bil
14	E14A29e1	1:10,000	ITRF 92	1.0	Color	2007	Bil
15	E14A29e2	1:10,000	ITRF 92	1.0	Color	2007	Bil
16	E14A29f1	1:10,000	ITRF 92	1.0	Color	2007	Bil

Tabla 2. Características generales de las ortofotos digitales utilizadas en el estudio. Fuente: Elaboración propia, tomado de INEGI, 2017.

3.1.4 Características de la imagen de satélite

Una imagen satelital es una representación visual de los datos reflejados por la superficie de la tierra que captura un sensor montado en un satélite artificial. Los datos son enviados a una estación terrena en donde se procesan y se convierten en imágenes, enriqueciendo nuestro conocimiento de las características de la Tierra en diferentes escalas espaciales (INEGI, 2015).

La imagen satelital adquirida posee un tratamiento previo realizado por el USGS (corrección geométrica). Las imágenes Landsat 8 son obtenidas por el sensor OLI y TIRS, y constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros por pixel para las bandas de 1 a 7 y 9 (aptas para la escala que se maneja en el estudio). El tamaño aproximado de la escena es de 170 km de norte-sur por 183 kilómetros de este a oeste (106 km por 114 km). Las especificaciones generales se describen a continuación en la Tabla 3.

Procesamiento:	Nivel 1 T-Corrección geométrica
Tamaño de Pixel:	Bandas OLI multiespectrales 1-7. 9:30 metros Banda OLI pancromática 8:15 metros Bandas TIRS 10-11 tomadas en 100 metros, pero remuestreadas a 30 metros para que coincida con las bandas multiespectrales de OLI
Características de los datos:	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de datos GeoTIFF • Remuestreo por convolución cúbica (CC) • Norte arriba (MAP) de orientación • Proyección cartográfica: Universal Transversal Mercator (UTM) (estereográfica polar de la Antártida) • Datum al Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84 • 12 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global para OLI • 41 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global para TIRS • Los valores de píxel en 16 bits
Entrega de datos:	Archivo comprimido .Tar.gz y de descarga a través de HTTP
Tamaño de Archivo:	Aproximadamente 1 GB (comprimido), aproximadamente 2 GB (sin comprimir)

Tabla 3. Características generales de la imagen de satélite utilizada en el estudio. Fuente: Elaboración propia, tomado de IGAC, 2013.

La imagen de satélite descargada se encuentra disponible en un formato GeoTIFF el cual trae predeterminada la información georreferenciada al sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) en la zona 14 norte, manejando el datum WGS 1984 en base al marco de referencia G-873¹ a una escala de 1:300 000 con un área de cubrimiento aproximado de 31 110 Km² (Figura 10). Siendo este sistema de coordenadas básicamente homólogo al de las ortofotos utilizadas en el análisis, no fue necesario realizar un proceso de georreferenciación en el SIG.

¹ Bajo la referencia G873 hay que entender que en las coordenadas se ha utilizado el sistema GPS en su semana 873 (29 de septiembre de 1996). En general, es un marco de referencia global con una Tierra fija que incluye un modelo de ajuste. Se define por un conjunto de parámetros primarios y derivados (IGAC, 2013).

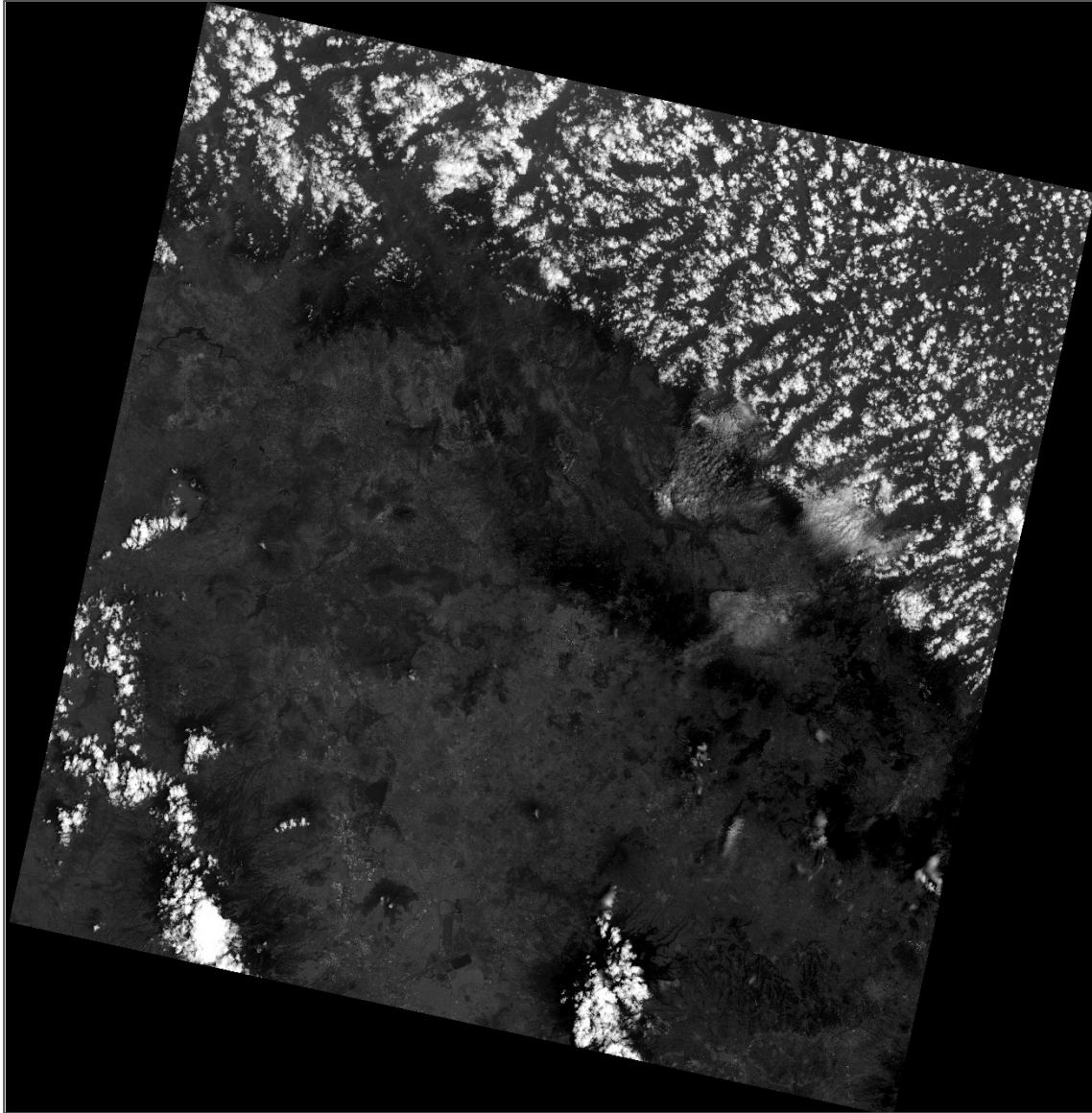


Figura 11. Imagen de satélite escala 1:300,000. Fuente: Tomado de USGS, 2017.

Tanto las imágenes satelitales como las fotografías aéreas digitalizadas juegan un papel importante en la elaboración general de mapas y en la adquisición y visualización de información en los SIG, proporcionando una base sólida para la generación, corrección y/o validación de datos espaciales a través de los diversos procesos específicos que se pueden llevar a cabo.

3.1.5 Composición de Bandas

Para el caso de la imagen de satélite se generó un mosaico enlazando las bandas espectrales (combinación de bandas) aptas para el análisis en base a las recomendaciones hechas por ESRI (Tabla 4) con el módulo *Image Analysis* de ArcGIS

10.2 obteniéndose una imagen de Falso Color (Urbano) donde fueron balanceados los valores numéricos de brillantez a modo de facilitar la detección de las zonas urbanas.

Mosaico	Combinación de Bandas
Color Natural	4 3 2
Falso Color (Urbano)	7 6 4
Color Infrarrojo (Vegetación)	5 4 3
Agricultura	6 5 2
Penetración Atmosférica	7 6 5
Vegetación Saludable	5 6 2
Tierra/Agua	5 6 4
Natural con Remoción Atmosférica	7 5 3
Infrarrojo de Onda Corta	7 5 4
Análisis de Vegetación	6 5 4

Tabla 4. Combinación de bandas más comunes para Landsat 8. Fuente: Elaboración propia, tomado de <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/band-combinations-for-landsat-8/>

3.1.6 Procesamiento

Ya que se obtuvo un mosaico para cada año, estos fueron cortados conforme a los límites de la región de estudio (municipios de Coacalco, Tultepec y Tultitlán) sobreponiéndoles una capa con el polígono de esta, a través de un *shapefile* (archivo informático con datos espaciales). Los archivos shape (datos vectoriales) utilizados en el análisis fueron proporcionados por el INEGI y pertenecen, tanto a la carta topográfica E14A29 (Cuautitlán) escala 1:50 000 como a la carta topográfica E1402 (Ciudad de México) escala 1:250 000, siendo sus características generales las que se describen a continuación en la Tabla 5.

No	Producto	Clave	Escala	Datum	Formato
1	Capa de datos-Altimetría	E14A29	1:50,000	ITRF 92	Shp
2	Capa de datos-Hidrográfico	E14A29	1:50,000	ITRF 92	Shp
3	Capa de datos-Vías de comunicación	E14A29	1:50,000	ITRF 92	Shp
4	Conjunto de datos vectoriales	E14A29	1:50,000	ITRF 92	Shp
5	Datos vectoriales-Edafología	E1402	1:250,000	NAD 27	Shp
6	Datos vectoriales-Geología	E1402	1:250,000	NAD 27	Shp
7	Datos vectoriales-Hidrología	E1402	1:250,000	NAD 27	Shp
9	Datos vectoriales-Vegetación	E1402	1:250,000	NAD 27	Shp
10	Datos vectoriales-Clima	E1402	1:250,000	NAD 27	Shp

Tabla 5. Características generales de los datos vectoriales utilizados en el estudio. Fuente: Elaboración propia, tomado de INEGI, 2017.

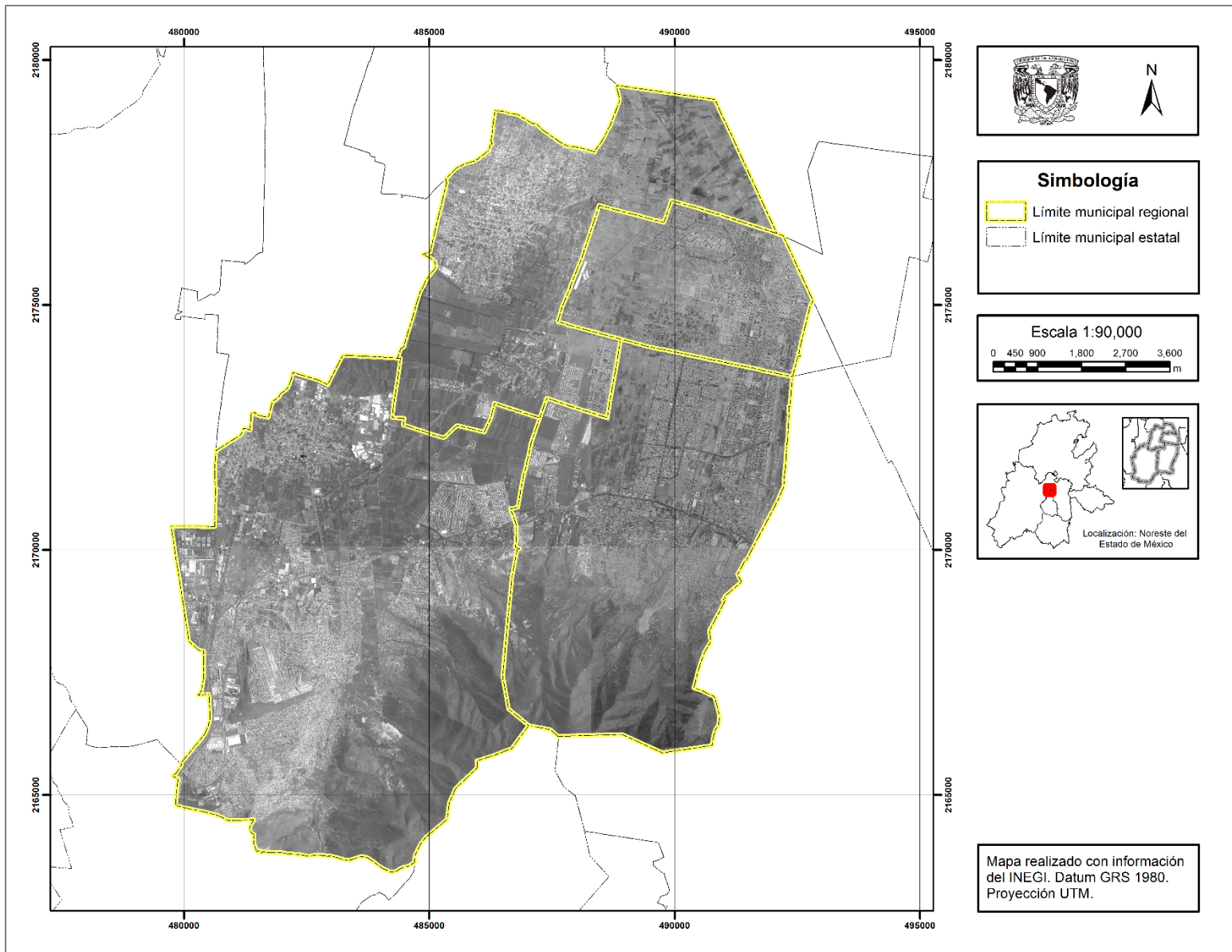
Posteriormente se realizaron recortes a dichos mosaicos en base al polígono de la zona de estudio (área de interés) con el módulo *Extraction* de ArcGIS 10.2 de tal forma que los pixeles que se encuentran dentro del polígono mantengan su valor de brillantez (número digital) y el resto tomen un valor de cero formando un fondo (background), generándose tres escenas diferentes por año (1994, 2007 y 2017) en las que se

delimitó la región de análisis con las siguientes coordenadas extremas en UTM (Tabla 6):

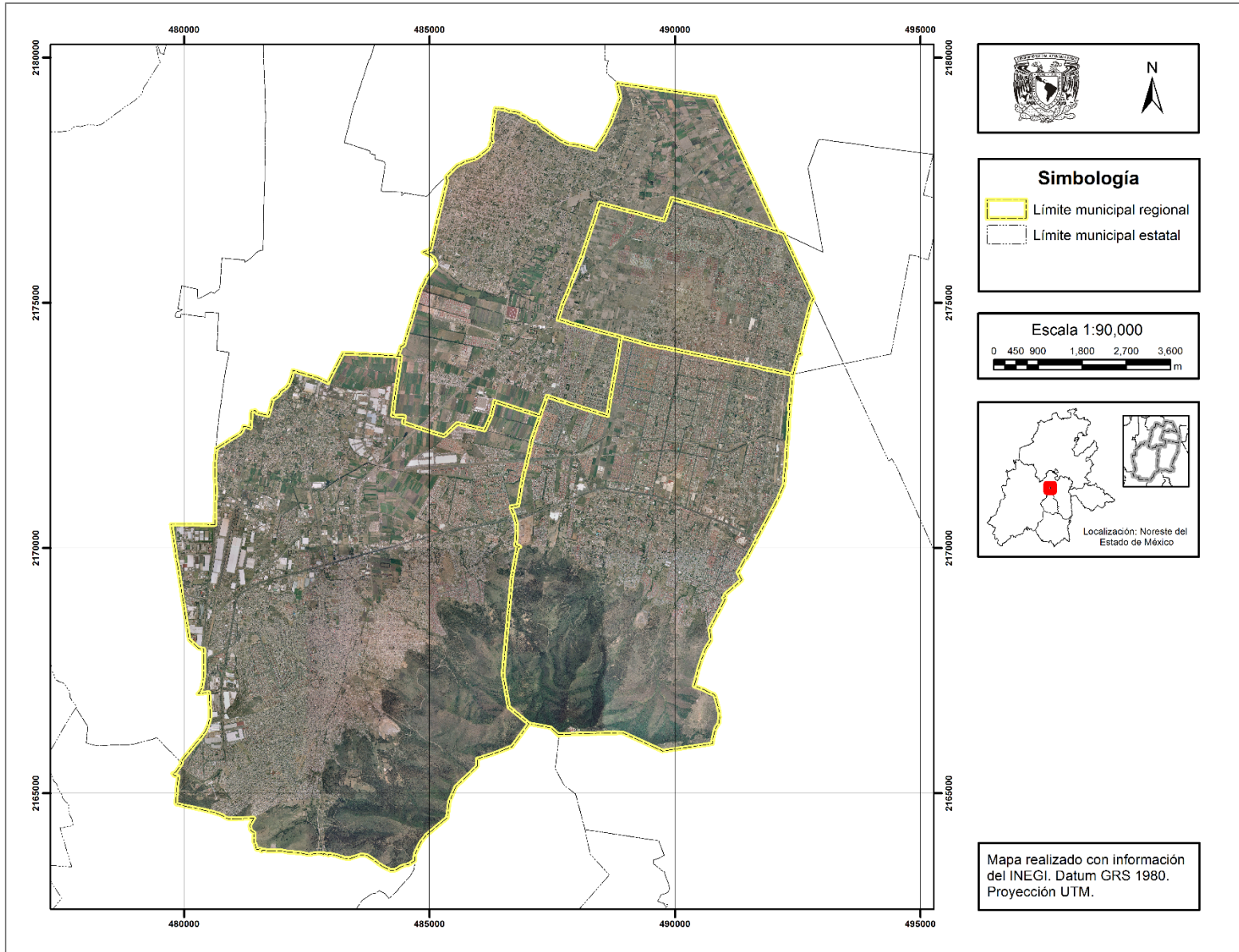
No	Tipo	Coordenada	Unidad
1	Mínima X	479,734.905	metros
2	Máxima X	492,822.905	metros
3	Mínima Y	2,163,427.904	metros
4	Máxima Y	2,179,483.904	metros

Tabla 6. Coordenadas extremas del área de estudio en UTM (ITRF 92, GRS 80). Fuente: Elaboración propia, tomado de INEGI, 2017.

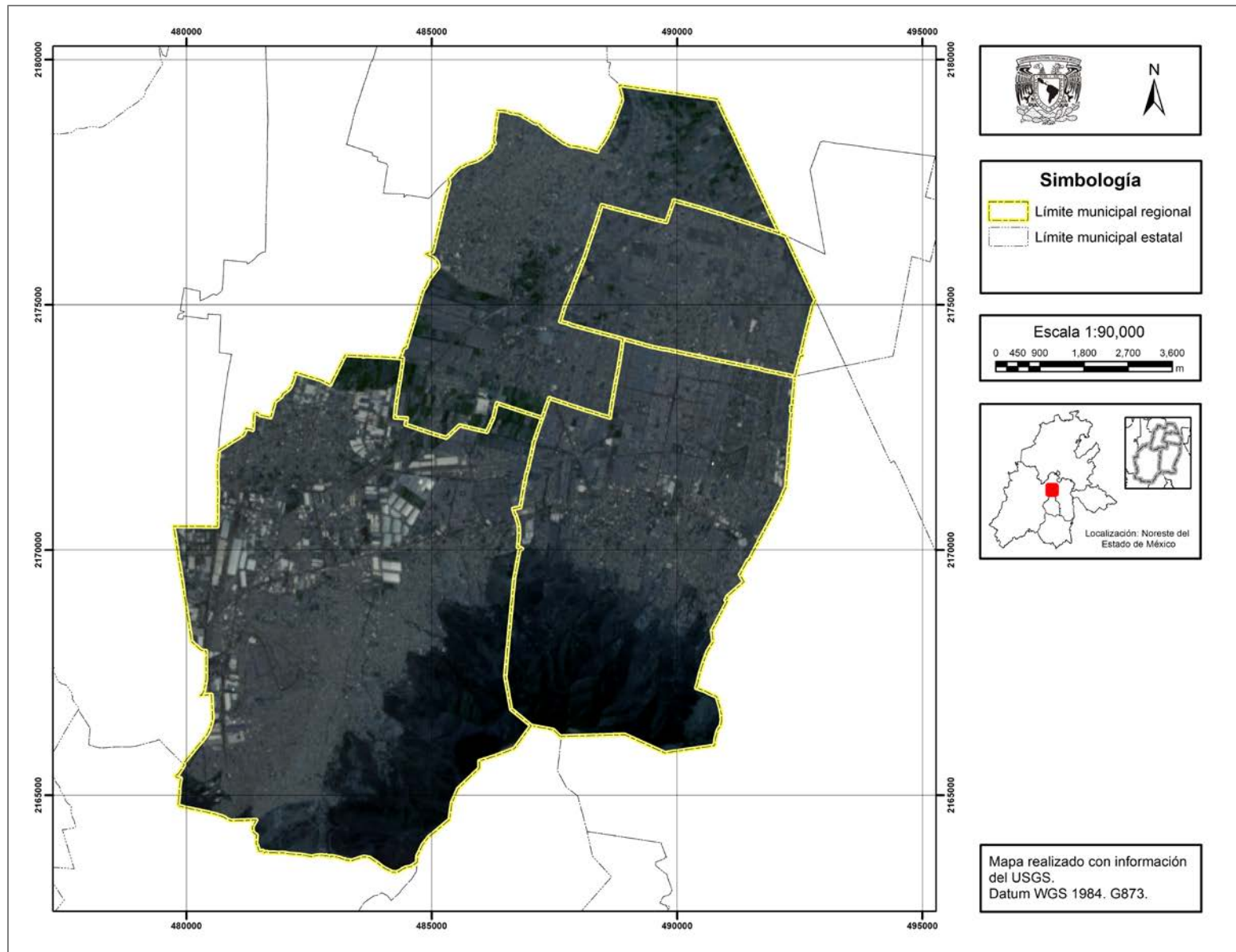
De las imágenes que resultan del procedimiento anterior se les realiza un proceso de enmascaramiento (Mapas 9, 10 y 11) donde se reemplazó el valor original de los píxeles fuera de la poligonal de estudio por un valor nulo (*display background value*), de tal manera que el resultado final arroje valores de reflectancia solo para los píxeles que se encuentran dentro del polígono de la zona de estudio. Posteriormente se le aplica un proceso de estiramiento espectral (*Stretch*), en este caso del tipo *Mínimo-Máximo*, para mejorar así la calidad de visualización de las imágenes. Ambos procesos se llevaron a cabo en la opción *Layer Properties* de ArcGIS 10.2.



Mapa 9. Zona de estudio para el año 1994 Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.



Mapa 10. Zona de estudio para el año 2007. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.



Mapa 11. Zona de estudio para el año 2017. Fuente: Elaboración propia con información de USGS.

3.2 Clasificación de las imágenes

3.2.1 Clasificación supervisada

La clasificación implica categorizar una imagen multibanda en términos estadísticos, esto supone reducir la escala de medida de una variable continua (niveles digitales), a una escala nominal o categórica. La imagen multibanda se convierte en otra imagen en donde los números digitales que definen cada píxel no tienen relación con la radiancia detectada, sino se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese píxel (GEOPLADES, 2009).

Dos tipos de clasificaciones de imágenes son las más usadas comúnmente y se encuentran implementadas en programas computacionales accesibles al público en general. Esas clasificaciones son las supervisadas y las no supervisadas. En este trabajo se utilizó la clasificación supervisada como la técnica más adecuada para poder alcanzar los objetivos del mismo.

La clasificación supervisada requiere de cierto conocimiento previo del terreno y de los tipos de coberturas presentes, para lo que se realiza, en el mejor de los casos, una combinación de trabajo de campo, de análisis de fotografías aéreas, mapas e informes técnicos, así como referencias profesionales y locales.

Con base de este conocimiento se definen y delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento o áreas piloto. Las características espectrales de tales áreas son utilizadas a fin de "entrenar" un algoritmo de clasificación, el cual calcula los parámetros estadísticos de cada banda para cada sitio piloto y de esta forma proceder a evaluar cada ND (Numero Digital) de la imagen, compararlo y asignarlo a una respectiva clase. Así entonces la clasificación supervisada intenta definir las clases temáticas que no tengan claro significado espectral, razón por la que es considerada un método artificial (IGAC, 2009).

El proceso de clasificación supervisada consiste básicamente en tres pasos: definición de número de clases espectrales a separar; captura de campos de entrenamiento; y clasificación. El primer paso, definición de número de clases, consiste en especificar la cantidad de clases posibles que se puedan discriminar espectralmente en la imagen. Los resultados obtenidos al probar diversos tipos de categorías en una clasificación de tipo no supervisada pueden ayudar a definir el total de clases a utilizar.

En el segundo paso, captura de campos de entrenamiento, el analista identifica áreas de entrenamiento representativas y desarrolla una descripción numérica de los atributos espectrales de cada clase de cobertura de interés en la imagen. Los campos de entrenamiento deben ser lo más homogéneos posibles en tamaño y distribuidos en toda la imagen para poder esperar un resultado de la clasificación favorable.

Por último, en el tercer paso, clasificación, consiste en categorizar a cada píxel en el grupo de datos de la imagen dentro de la clase de cobertura que más se parezca, y en caso de no encontrar la clase a la que se asemeje, este píxel es etiquetado como desconocido. Una vez que los datos han sido categorizados los resultados deben ser presentados en una imagen de salida (Lillesand, 2008).

Normalmente, la clasificación se realiza con un conjunto de clases predefinidas en mente. Tal conjunto es llamado esquema o sistema de clasificación. El propósito de este esquema es proporcionar una estructura para organizar y categorizar la información que puede extraerse de los datos. El sistema de clasificación utilizado en este trabajo se basó en un enfoque funcional, es decir en base a la actividad que se realiza en determinada zona. Por tal motivo las clases analizadas fueron las siguientes (Tabla 7):

Uso del Suelo	Descripción
Agrícola y/o Sin Vegetación	Superficies destinadas al cultivo de vegetales y/o aprovechamientos por algún tipo de ganado. Áreas desprovistas de vegetación o con una cobertura vegetal extremadamente baja.
Árbol, Arbusto y/o Pasto	Conjunto de plantas que conforman una unidad reconocible. Se distinguen tres clases de plantas: árboles, arbustos y hierbas.
Urbano	Área poblada donde existe un agrupamiento de construcciones, de acuerdo con una trama urbana, a la que se le asocia un nombre.

Tabla 7. Clasificación de uso del suelo utilizada en el estudio. Fuente: Elaboración propia.

Una vez definido el número de clases y haber establecido el nombre a cada una de ellas, se llevó a cabo la fase de ingreso de los campos de entrenamiento utilizando para tal propósito el software ArcGIS versión 10.2. Sobre las imágenes de los años 1994, 2007 y 2017 fueron capturados los campos de entrenamiento para cada una de las clases de uso del suelo con el módulo *Create Signatures*.

Este paso consistió en la identificación de una muestra de píxeles similares y representativos de las áreas de entrenamiento asignándoles un valor vectorial determinado. Se digitalizaron en un principio un total de 6 campos de entrenamiento, 2 campos por cada clase empleada en la clasificación, con un promedio de 20 píxeles por campo para cada imagen y con una distribución homogénea sobre cada una de ellas para poder así reflejar adecuadamente la variabilidad espacial de algunas clases en el área de estudio (Tabla 8).

Información	Valor Espectral
Agrícola y/o Sin Vegetación	1, 2
Árbol, Arbusto y/o Hierba	3, 4
Urbano	5, 6

Tabla 8. Relación entre clases de información y clases espectrales. Fuente: Elaboración propia.

Concluida la selección de los campos de entrenamiento, el software calcula automáticamente las estadísticas elementales de cada categoría: rango, media, desviación típica, matriz de varianza-covarianza, etcétera, a partir de los ND de todos los píxeles incluidos en las áreas de entrenamiento asignados a esa clase. Se asume que los campos de entrenamiento son fieles representaciones de las distintas categorías, y que, por tanto, las medidas extraídas a partir de sus ND definen convenientemente a esas clases (Chuvienco, 1995).

3.2.2 Análisis multitemporal post-clasificadorio

El análisis multitemporal post-clasificadorio consiste en la comparación, a través de una tabulación cruzada denominada análisis de detección de cambio, de mapas temáticos de fechas diferentes producidos de manera independiente por la clasificación de imágenes, la cual lista las frecuencias de coincidencias y diferencias de las clases involucradas. El arreglo de la tabla de detección de cambio hace posible el cálculo de la evolución en conjunto y por categoría en los mapas que se están valorando (Eastman, 1999).

La primera fase del análisis multitemporal consta de la creación de vectores diferenciados, en forma de polígonos, sobre el crecimiento urbano y los usos del suelo en la región analizada, derivados de la clasificación de las fotografías aéreas de los diferentes años de estudio, para que posteriormente, en una segunda fase, se inicie su respectiva digitalización en el SIG.

La digitalización consiste en la creación de mapas temáticos procedidos de la vectorización, los cuales posteriormente se convierten en imágenes raster con los mismos parámetros espaciales de los polígonos resultantes en la clasificación, los cuales se transponen en diferentes capas, mostrando al final, según sea el caso, un solo mapa temático.

Capítulo 4. Análisis, Resultados y Conclusiones



Figura 12. Avenida José López Portillo en el municipio de Coacalco. Fuente: Fernández, Samuel. (2018). Recuperado de <https://goo.gl/images/tqidXw>

En base a los procesos descritos con anterioridad se obtuvieron mapas temáticos con tres fechas diferentes (1994, 2007 y 2017) de los cuales se simbolizan usos del suelo (agropecuario y urbano) y cobertura del terreno (árboles y arbustos). Los dos grupos de clases obtenidos cuentan con variaciones de cobertura y uso de suelo debido, en primera instancia, a la temporalidad (fecha que se obtuvo imagen) y en segunda instancia, a la calidad de imagen con la que se contaba en determinados años.

4.1 Campos de Entrenamiento

Para la clasificación de las imágenes se determinaron un total de 3 grupos o clases (campos de entrenamiento), los cuales presentan variaciones debido a la temporalidad y la calidad y la escala de las imágenes correspondientes. Esta diferenciación también depende del comportamiento de los materiales ante la recepción de la luz solar y la manera en la que es reflectada al sensor. Las clases definidas para visualizar y cuantificar los cambios son:

a) Agrícola y/o Sin Vegetación (19.650248, -99.130746).



Figura 13. Muestra del tipo de suelo Agrícola en la zona de estudio. Fuente: Google Maps.

b) Árbol, Arbusto y/o Hierba (19.617932, -99.105149).



Figura 14. Muestra del usos de suelo Árbol, arbusto y/o hierba en la zona de estudio. Fuente: Google Maps.

c) Urbano (19.641251, -99.091471)

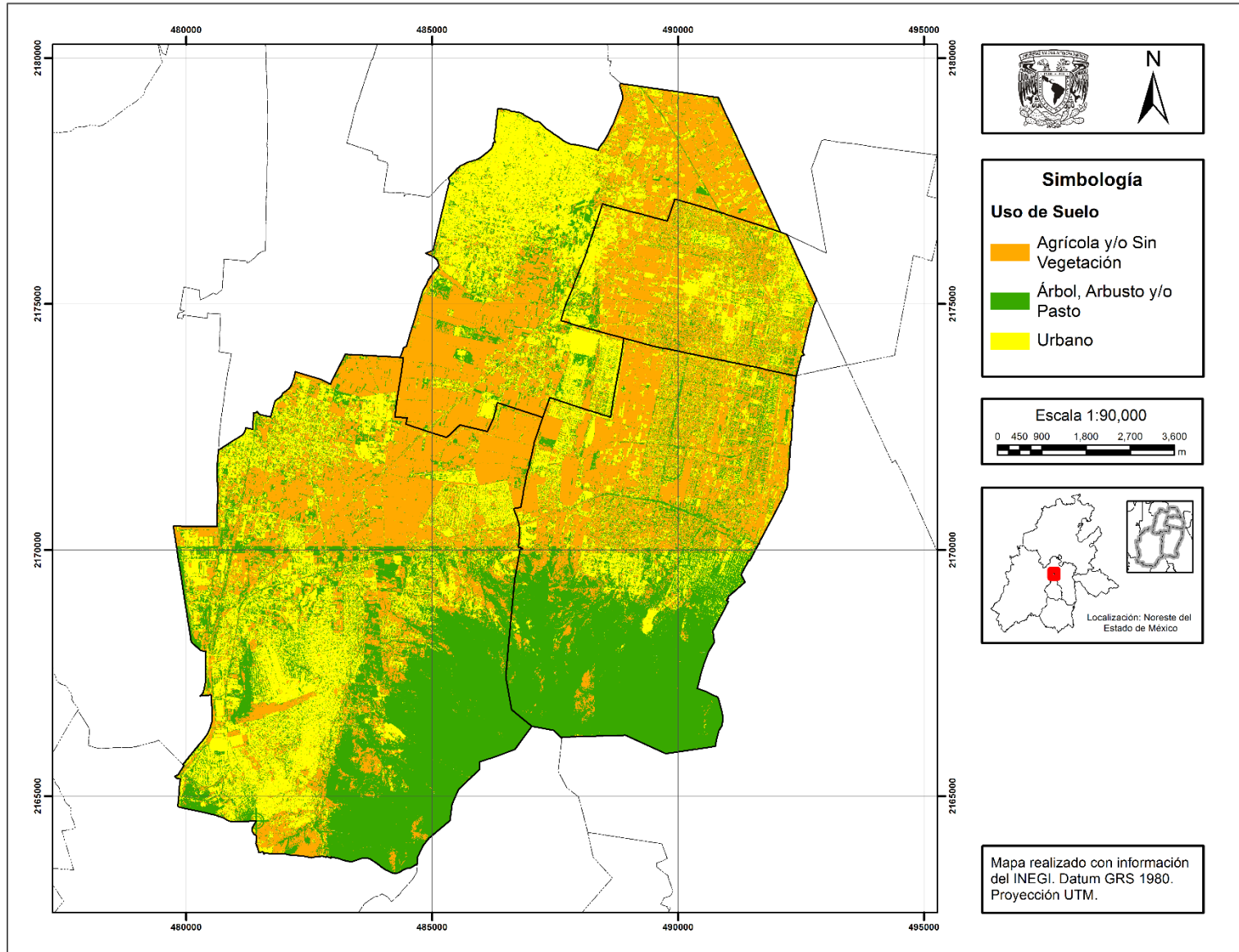


Figura 15. Muestra de uso de suelo Urbano en la zona de estudio. Fuente: Google Maps.

4.2 Clasificación de Imágenes

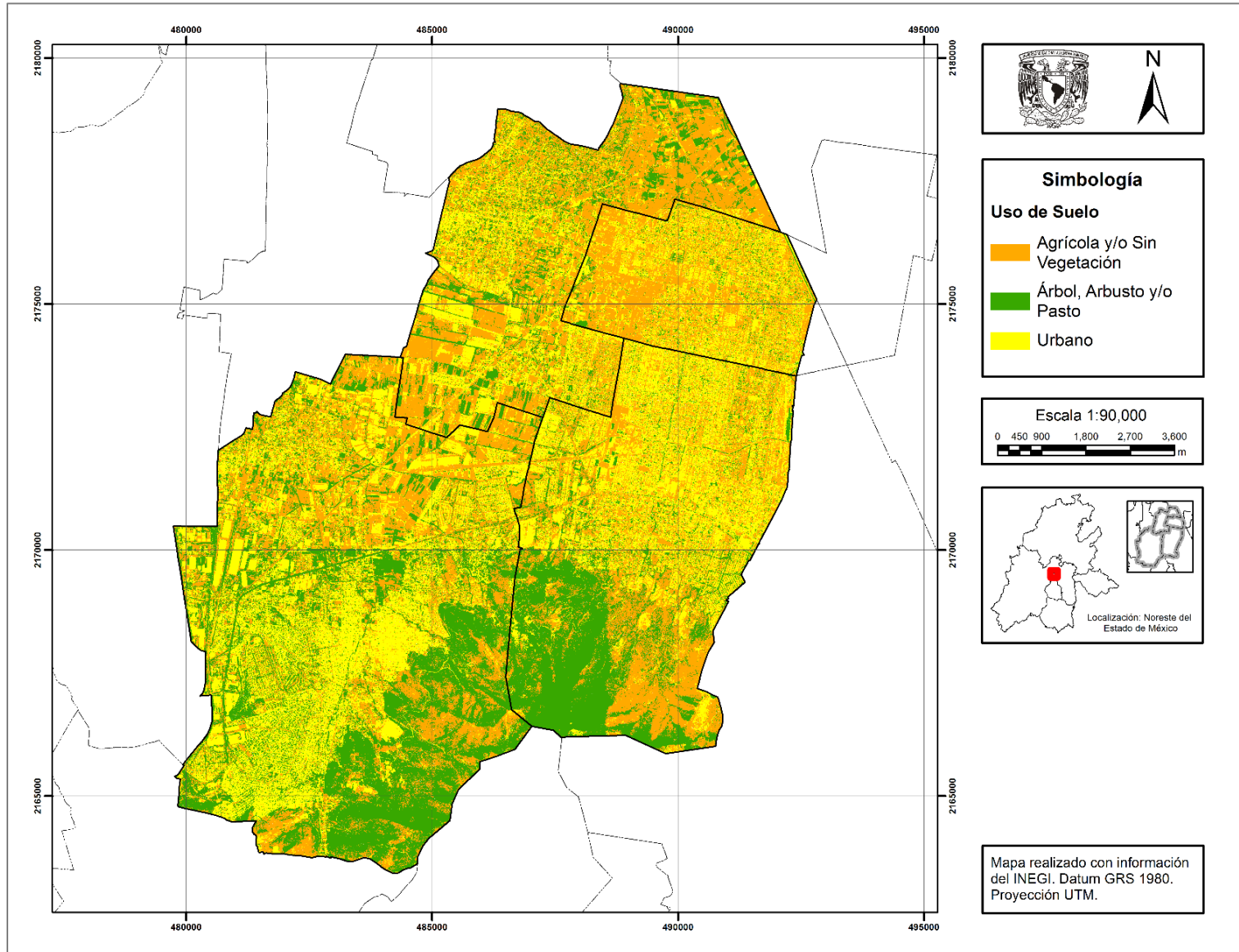
Los resultados obtenidos de la clasificación supervisada por medio de ArcGIS fueron los siguientes (Mapas 12, 13 y 14):

4.2.1 Clasificación de la imagen del año 1994



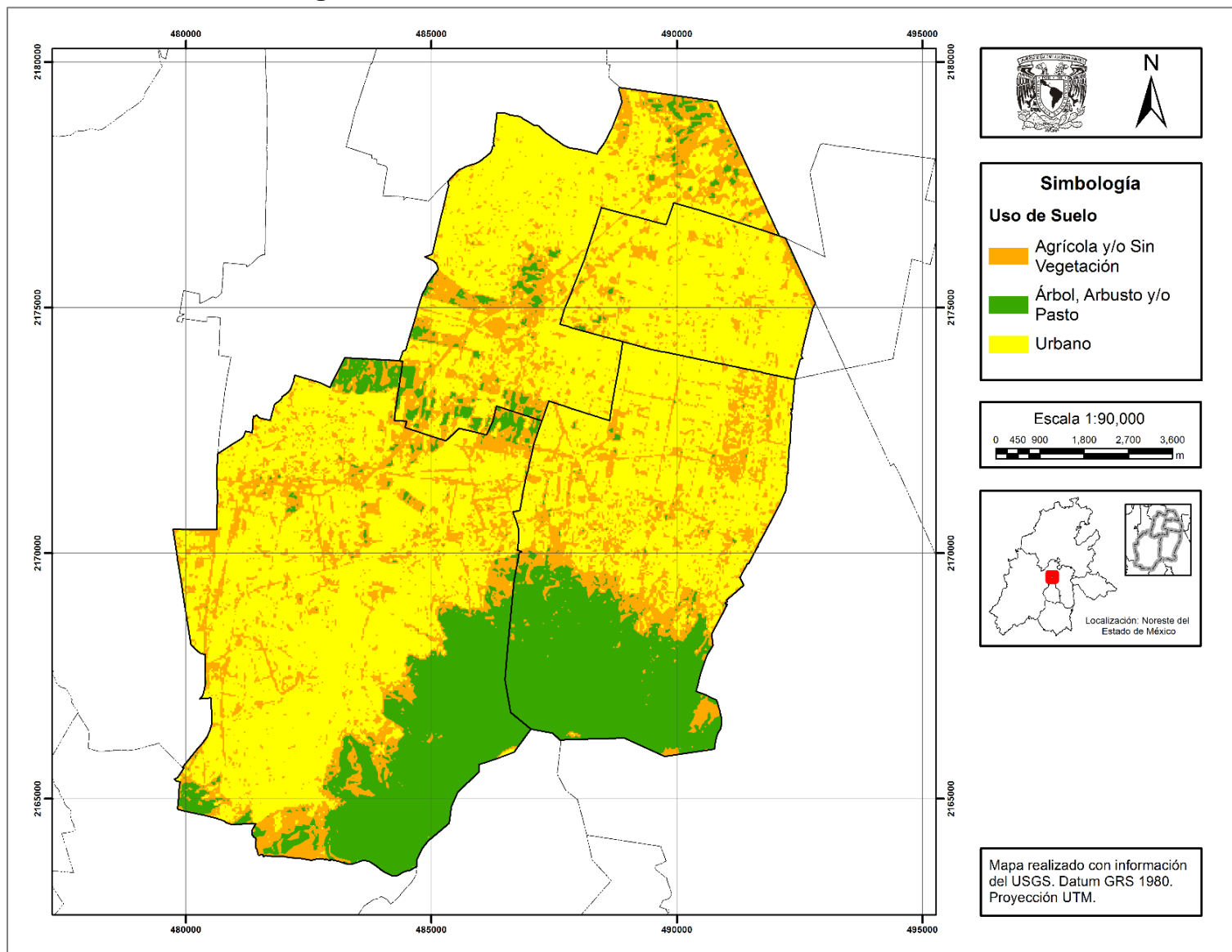
Mapa 12. Clasificación supervisada de la Zona de estudio en el año 1994. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.

4.2.2 Clasificación de la imagen del año 2007



Mapa 13. Clasificación supervisada de la Zona de estudio en el año 2007. Fuente: Elaboración propia con información de INEGI.

4.2.3 Clasificación de la imagen del año 2017



Mapa 14. Clasificación supervisada de la Zona de estudio en el año 2017. Fuente: Elaboración propia con información de USGS.

4.3 Análisis de los años de estudio

Cada uno de los tres mapas temáticos elaborados representa a una extensión de análisis de 134 Km², pero con la diferencia de que cada mapa brinda cifras de uso de suelo diferentes dependiendo el año, ya sea tanto en extensión territorial como en ubicación espacial.

4.3.1 Año 1994

En el año 1994 el uso de suelo con mayor extensión territorial fue el de la clase Agrícola y/o Sin Vegetación con 49.4 Km² (36.9% del total). El uso de suelo de la clase Árbol, Arbusto y/o Pasto contaba con 46.5 Km² (34.7% del total) de ocupación espacial, colocándose en el segundo lugar. Finalmente en tercer lugar y con la menor extensión de territorio se encontraba el uso de suelo Urbano con 38.1 Km² (28.4% del total).

Se puede observar un relativo equilibrio entre los tres tipos de uso de suelo, siendo la diferencia más significativa de un 8.5 % (11.3 Km²) entre el primero y el último en orden de extensión (Tabla 9 y figura 10).

Uso de Suelo 1994	Superficie Km ²	Porcentaje %
Agrícola y/o Sin Vegetación	49.4	36.9
Árbol, Arbusto y/o Pasto	46.5	34.7
Urbano	38.1	28.4
Total	134	100

Tabla 9. Uso de suelo en la zona de estudio para el año 1994. Fuente: Elaboración propia.

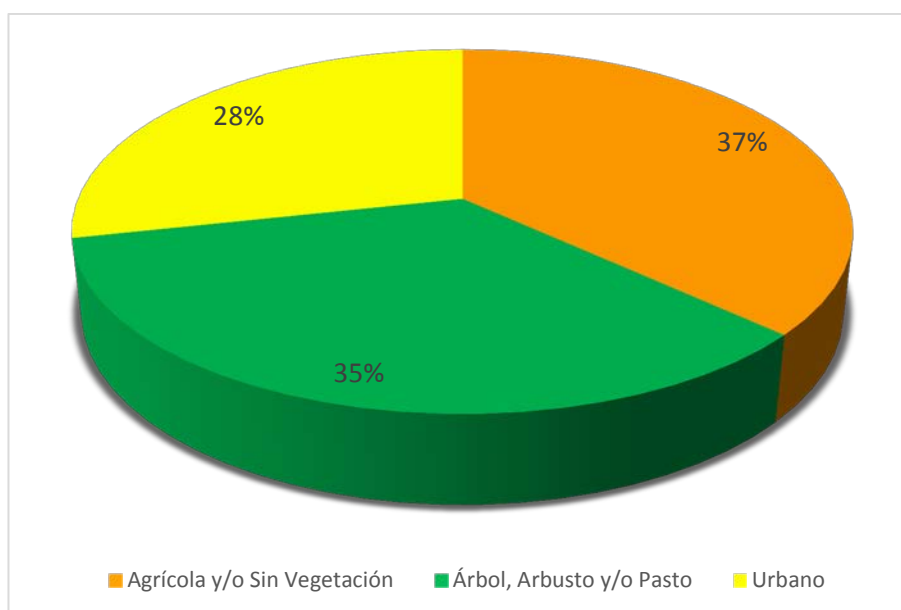


Figura 16. Porcentaje de uso de suelo en la zona de estudio para el año 1994. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Año 2007

En el año 2007 el uso de suelo con mayor extensión territorial fue el de la clase Agrícola y/o Sin Vegetación con 52.4 Km² (39.1% del total). El uso de suelo de la clase Urbano contaba con 44.3 Km² (33.1% del total) de ocupación espacial, colocándose en el segundo lugar. Finalmente en tercer lugar y con la menor extensión de territorio se encontraba el uso de suelo Árbol, Arbusto y/o Pasto con 37.3 Km² (27.8% del total).

Se observa que tanto los usos de suelo Agrícola y/o Sin Vegetación y Urbano tuvieron un aumento promedio en su extensión territorial del 3.4%, en contraparte a la disminución del uso Árbol, Arbusto y/o Pasto que sufrió una reducción de su cubrimiento del 6.9% (Tabla 10 y figura 11).

Uso de Suelo 2007	Superficie Km ²	Porcentaje %
Agrícola y/o Sin Vegetación	52.4	39.1
Árbol, Arbusto y/o Pasto	37.3	27.8
Urbano	44.3	33.1
Total	134	100

Tabla 10. Uso de suelo en la zona de estudio para el año 2007. Fuente: Elaboración propia.

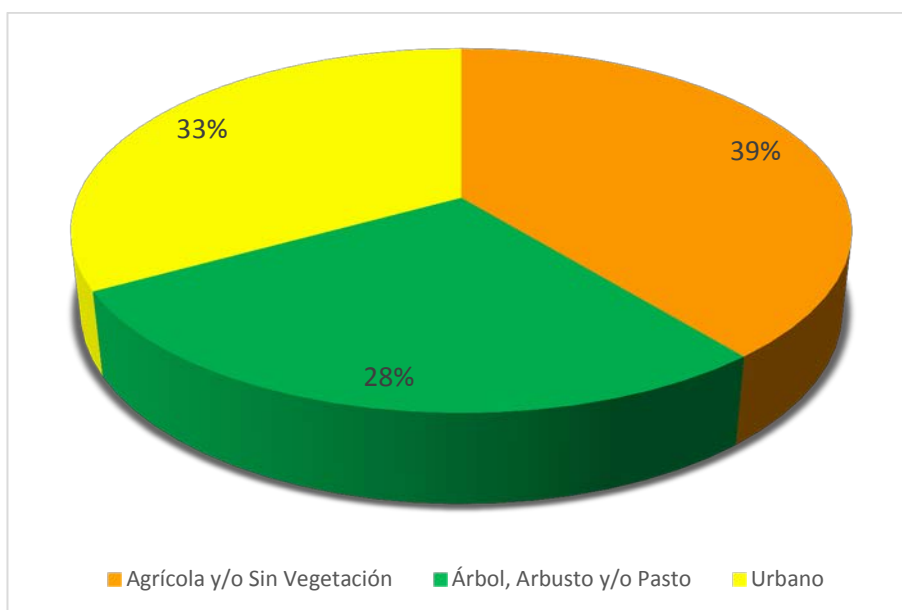


Figura 17. Porcentaje de uso de suelo en la zona de estudio para el año 2007. Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Año 2017

En el año 2017 el uso de suelo con mayor extensión territorial fue el de la clase Urbano con 77.4 Km² (57.8% del total). El uso de suelo de la clase Agrícola y/o Sin Vegetación

contaba con 29.6 Km² (29.6% del total) de ocupación espacial, colocándose en el segundo lugar. Finalmente en tercer lugar y con la menor extensión de territorio se encontraba el uso de suelo Árbol, Arbusto y/o Pasto con 27.0 Km² (27% del total).

Se puede observar un aumento del uso de suelo Urbano con respecto al periodo anterior de estudio de un 24.7%, mientras que las coberturas de suelo Agrícola y/o Sin Vegetación y Urbano y Árbol, Arbusto y/o Pasto sufrieron una disminución promedio del 12.4% (Ver tabla 11 y figura 12).

Uso de Suelo 2017	Superficie Km ²	Porcentaje %
Agrícola y/o Sin Vegetación	29.6	22.1
Árbol, Arbusto y/o Pasto	27.0	20.1
Urbano	77.4	57.8
Total	134	100

Tabla 11. Uso de suelo en la zona de estudio para el año 2017. Fuente: Elaboración propia.

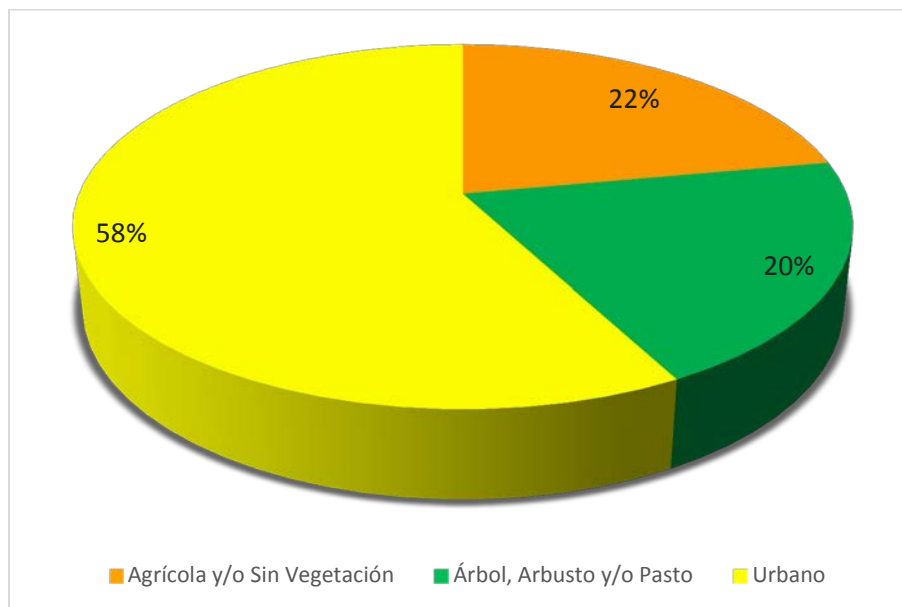
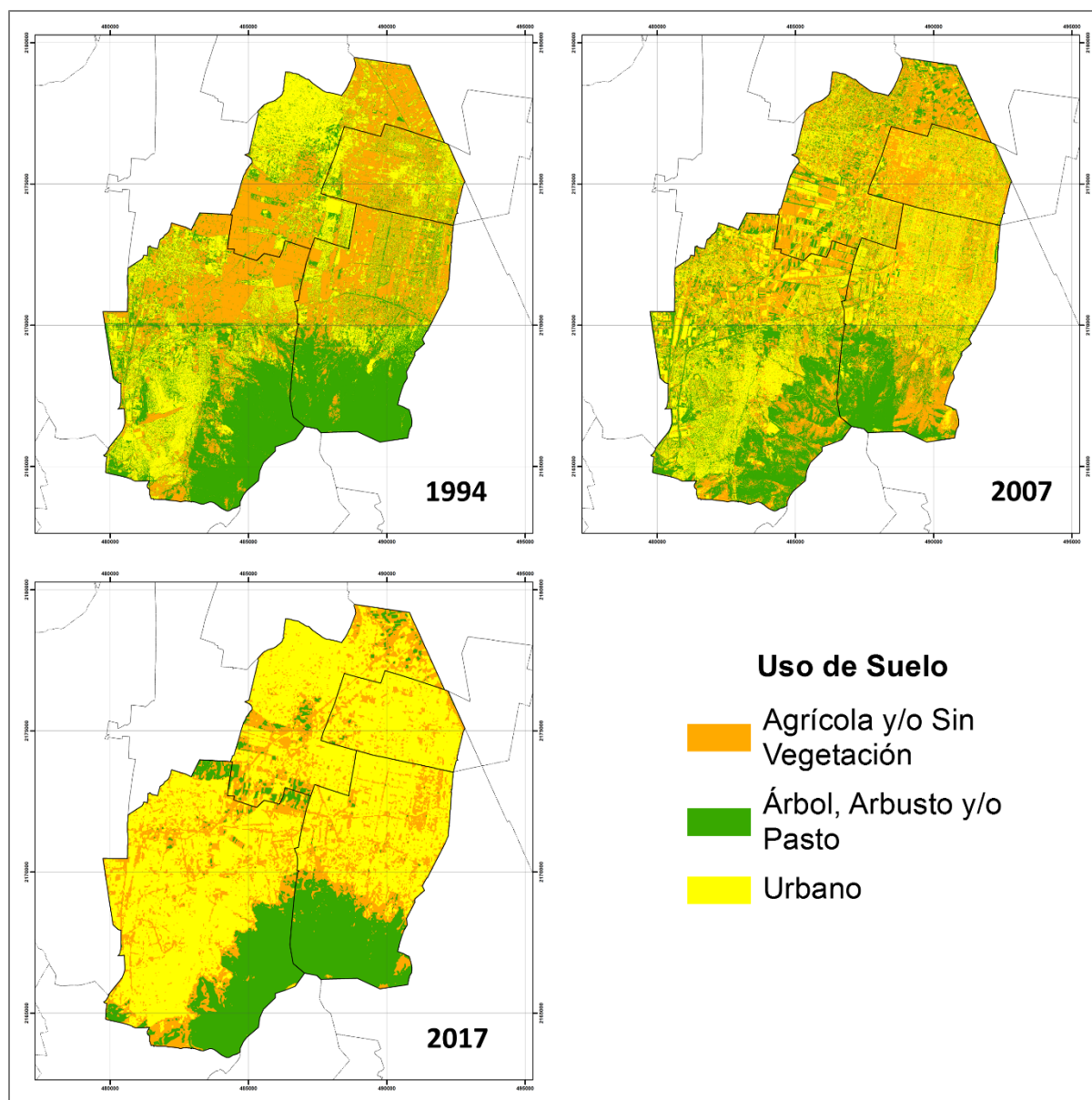


Figura 18. Porcentaje de uso de suelo en la zona de estudio para el año 2017. Fuente: Elaboración propia.

El análisis de las 3 diferentes imágenes (Ver figura 24) permitió detectar la transformación del uso de suelo en la zona de estudio a lo largo del tiempo especificado. El cambio más significativo fue que el uso de suelo urbano aumento poco más del doble de su extensión durante un lapso de 23 años, desplazando así tanto a la cubierta vegetal como a la superficie destinada a actividades agropecuarias.



Mapa 15. Comparativa de mapas de Uso de Suelo del área de estudio para los años 1994, 2007 y 2017. Fuente: Elaboración propia.

En caso contrario del uso de suelo Árbol, Arbusto y/o Pasto presento una disminución progresiva constante durante esos mismos 23 años, el cual fue desplazado por las actividades agrícolas y la ocupación urbana. El uso de suelo Agrícola y/o Sin Vegetación de 1994 a 2007 tuvo un crecimiento del 2.2%, pero para el año 2017 registró la pérdida de un 17% de su cobertura al ser desplazado por el uso de suelo Urbano (Ver tabla 12).

Kilómetros Cuadrados (Km²) de Cobertura						
Uso de Suelo	1994	2007	2017	Diferencia 1994-2007	Diferencia 2007-2017	Diferencia 1994-2017
Agrícola y/o Sin Vegetación	49.4	52.4	29.6	3	-22.8	-19.8
Árbol, Arbusto y/o Pasto	46.5	37.3	27	-9.2	-10.3	-19.5
Urbano	38.1	44.3	77.4	6.2	33.1	39.3
Porcentaje de Cobertura (%)						
Uso de Suelo	1994	2007	2017	Diferencia 1994-2007	Diferencia 2007-2017	Diferencia 1994-2017
Agrícola y/o Sin Vegetación	36.9	39.1	22.1	2.2	-17.0	-14.8
Árbol, Arbusto y/o Pasto	34.7	27.8	20.1	-6.9	-7.7	-14.6
Urbano	28.4	33.1	57.8	4.6	24.7	29.3

Tabla 12. Comparativa de cambios de los usos de suelo entre los años 1994, 2007 y 2017. Fuente: Elaboración propia.

Las tendencias de cambio para los próximos años, siguiendo el mismo patrón de comportamiento, se desenvuelven en dos posibles escenarios: el primero es la disminución de los usos de suelo agrícola en beneficio de la expansión urbana, afectando en menor manera al uso de suelo Árbol, Arbusto y/o Pasto debido a que este se encuentra, en su mayoría, en terrenos protegidos y con pendientes pronunciadas y de difícil acceso; el segundo es el estancamiento o disminución de la zona urbana debido al proceso de concentración en la ciudad de México y las políticas públicas que promueven el desarrollo sustentable.

Conclusión

Los resultados mostrados del análisis de las diversas imágenes de la zona en cuestión lograron estudiar el cambio territorial llevado a cabo en los municipios de Coacalco, Tultitlan y Tultepec a lo largo de un periodo de 23 años (De 1994 a 2017). Estos cambios en los patrones espaciales, debidos principalmente a la dinámica urbana y sus remanentes, se cuantificaron gracias al uso de métodos y técnicas de Percepción Remota y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Las tecnologías de la información permitieron detectar, representar, cuantificar y analizar el crecimiento de la mancha urbana y los cambios de uso del suelo. Para la obtención de los respectivos mapas temáticos fue necesario, en primera instancia, generar un mosaico del área de estudio a partir de ortofotos digitales correspondientes a los años 1994 y 2007, y en segunda instancia, obtener una imagen satelital ortorectificada de la zona de estudio para el año 2017.

Posteriormente, se aplicaron en las imágenes las técnicas de clasificación supervisada, evaluación de la exactitud, interpretación visual y trabajo de campo, y a través del análisis multitemporal post clasificatorio se pudieron obtener 3 clases por tipo de usos de suelo: área urbana, área agrícola y/o sin vegetación y área de árbol, arbustos y/o pasto. La clasificación obtenida permite darse una idea de la distribución espacial de los tipos de suelo que hay a lo largo y ancho del área de estudio.

Las coberturas y los usos de suelo que actualmente se plasman en el área de estudio reciben un mayor impacto por parte del desarrollo urbano, el cual se refleja en una mayor ocupación del territorio (58% del área total) gracias al crecimiento habitacional, industrial y de servicios forzado por el aumento de la población, siendo una tendencia en los últimos años, lo que en primera instancia invita a pensar en la incrustación de planes de ordenación territorial modernos y eficientes.

Es preocupante la reducción de las áreas forestales en el área de estudio durante las últimas dos décadas, lo que impacta en la disminución y pérdida de la biodiversidad vegetal y animal además del aumento de la erosión y la sedimentación de los suelos repercutiendo en las actividades agropecuarias presentes en la zona de estudio, lo que fragmenta el paisaje y degrada la estética de la región.

De seguir con la misma tendencia de crecimiento, donde el uso de suelo es mayormente urbano, la zona de estudio se encontraría en riesgo inminente de colapsar. El principal factor que acelera este posible colapso es el aumento de la población, lo cual conlleva a incrementar la contaminación ambiental, a agotar las fuentes de agua potable, a deteriorar los servicios públicos y a acrecentar la inseguridad.

En base a lo anterior se concluye que se debe de realizar un esfuerzo político encaminado, en primer lugar, a conservar y expandir el uso de suelo forestal, poniendo un límite a la expansión urbana y promoviendo la reforestación, lo que permitirá proteger los suelos fértiles y erradicar la desertificación, generara áreas recreativas naturales, contar un muro protector natural contra el viento y los escurrimientos pluviales y, con una planeación adecuada, permitir la explotación forestal sustentable en las zonas regeneradas protegiendo así los bosques antiguos.

En segundo lugar, el uso de suelo agrícola y/o sin vegetación que se localice dentro de la zona más urbanizada, aprovecharlo para la construcción de parques, unidades deportivas y/o la implementación de huertas urbanas, transformándose en espacios productivos y de agrupamiento comunitario, lo que fortalece los vínculos sociales perdidos y establece objetivos claros para la estabilidad y prosperidad de la población residente.

Finalmente en tercer lugar, dentro de la zona de uso de suelo urbano, promover la conservación de jardines públicos y habitacionales prohibiendo las construcciones horizontales y/o la ampliación de las ya establecidas, favoreciendo la recarga de mantos acuíferos, además de la implementación de programas para la plantación de vegetación adecuada sobre las calles y avenidas, e inclusive jardines verticales y azoteas verdes, embelleciendo el paisaje urbano y estimulando la actividad económica.

Fuentes Consultadas

ABLER, Ronald; ADAMS, John y Peter GOULD. (1972). Spatial organization: The geographer's view of the world. New Jersey: Prentice Hall.

AGUILAR, Guillermo. (2004). Procesos metropolitanos y grandes ciudades. Dinámicas recientes en México y otros países. México: Instituto de Geografía, UNAM.

AGUILAR, Guillermo e Irma ESCAMILLA. (2011). Periurbanización y sustentabilidad en grandes ciudades. México: Instituto de Geografía, UNAM.

AGUILERA ORTEGA, Jesús y Alma CORRAL FERNANDEZ. La producción de suelo urbano a través de fraccionamientos en el Estado de México 1946-1992. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

ARIAS, Pablo. (2003). Periferias y nueva ciudad. El problema del paisaje en los procesos de dispersión urbana. Sevilla: Universidad de Sevilla.

BUZAI, Gustavo y Claudia BAXENDALE. (2013). Aportes del análisis geográfico con Sistemas de Información Geográfica como herramienta teórica, metodológica y tecnológica para la práctica del ordenamiento territorial. Buenos Aires: Universidad Nacional de Luján.

CHAPIN, Stuart. (1977). Planificación del uso del suelo urbano. Barcelona: Oikos-Tau.

CHUVIECO, Emilio. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: Rialp.

CONESA GARCIA, Carmelo. (2005). Tecnologías de la información geográfica: Territorio y medio ambiente. Murcia: Universidad de Murcia.

CORRAL, Alma y AGUILERA, Jesús. (1993). La producción de suelo urbano a través de fraccionamientos en el Estado de México, 1946-1992. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

DELGADO, Javier. La urbanización difusa de la Ciudad de México. Otras miradas sobre un espacio antiguo. México: UNAM-Instituto de Geografía.

DÍAZ, Emilio; CRECENTE, Rafael y Carlos ÁLVAREZ. (2004). Turismo y ordenación del territorio en el municipio de Ribadeo. Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.

EASTMAN J. R. (1999). IDRISI 32 release 2 Guide to GIS and image processing. Clark University USA.

EUGENI SÁNCHEZ, Joan. (1991). Espacio, economía y sociedad. Barcelona: Siglo XXI de España Editores.

GARCÍA CATALÁ, Rafael. (2010). Crecimiento urbano y modelo de ciudad. Barcelona: Architecture, City and Environment (ACE).

GARCÍA-MORAN ESCOBEDO, Juan. (1992). Metrópolis: Las grandes ciudades del mundo. Madrid: Alianza.

GEOGRAFIA, PLANEACION Y DESARROLLO (GEOPLADES). (2009). Estudio multitemporal del Nororiente del Ecuador. Quito: GEOPLADES.

GOBIERNO MUNICIPAL DE COACALCO DE BERRIOZÁBAL. Plan de desarrollo municipal 2016-2018. (2016). Coacalco: Gobierno municipal de Coacalco de Berriozábal.

GOBIERNO MUNICIPAL DE TULTEPEC. Plan de desarrollo municipal del ayuntamiento constitucional 2016-2018. (2016). Tultepec: Gobierno del ayuntamiento municipal de Tultepec.

GOBIERNO MUNICIPAL DE TULTITLÁN DE MARIANO ESCOBEDO. Plan de desarrollo municipal 2016-2018. (2016). Tultitlán: Gobierno municipal de Tultitlán de Mariano Escobedo.

GURRIA GASCON, J. L.; HERNANDEZ CARRETERO, A. y A. NIETO. (2003). De lo local a lo global: Nuevas tecnologías de la información geográfica para el desarrollo. Extremadura: Universidad de Extremadura.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2016). Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa. Aguascalientes: INEGI.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2015). Compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e información de carácter fundamental. Aguascalientes: INEGI.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). (2009). Fundamentos de procesamiento digital de imágenes. Bogotá: IGAC.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (2017). Inventario de productos geográficos digitales. Aguascalientes, México. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/productos_geograficos.aspx

KUNZ, Ignacio. (2003) Usos del suelo y territorio. Tipos y lógicas de localización en la ciudad de México. México: Plaza y Valdés.

LEÓN ARTETA, Régulo. (1991). Nueva edafología: Regiones tropicales y áreas templadas de México. México: Fontamara.

LOPEZ BLANCO, Jorge. (2005). Sistemas de información geográfica en estudios geomorfología ambiental y recursos naturales. México: UNAM.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODASSI. (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission) Versión 1.0. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

LILLESAND, Thomas; KIEFER, Ralph y Jonathan CHIPMAN. (2008). Remote sensing and image interpretation. EUA: Wiley.

MARTINEZ, Julio y Alejandro DIAZ. (2005). Percepción Remota. Fundamentos de teledetección espacial. México: Comisión Nacional del Agua.

PEÑA, Juan. (2006). Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio. Madrid: Club Universitario.

PRECEDO, Andrés. (1996). Ciudad y desarrollo urbano. Madrid: Síntesis.

ROMA PUJADAS, Jaume Font. (1998). Ordenación y planificación territorial. Madrid: Síntesis.

ROZE, Jorge Prospero. (1999). Crecimiento urbano, necesidades sociales y acción municipal. El caso de la ciudad de Resistencia. Corrientes: Universidad Nacional del Nordeste.

UNIKEL, Luis y Andrés NECOCHEA. (1975). Desarrollo urbano y regional en América Latina: Problemas y políticas. México: Fondo de Cultura Económica.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. (2017). Earth Explorer. Reston, Virginia, E.U.A. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

SANABRIA, Tadeo Humberto. (2010). Manual de planificación territorial asistida con sistemas de información geográfica. Tunja: Universidad de Boyacá, Facultad de Arquitectura y Bellas Artes, Centro de Investigaciones para el desarrollo CIPADE.

SOLÀ MORALES, Manuel. (2006). Las formas de crecimiento urbano. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

VILLAREAL, Diana y Dominique MIGNOT. (2007). Metropolización, concentración económica y desigualdades espaciales en México y Francia. México: Universidad Autónoma Metropolitana.