

---

---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE GEOGRAFÍA**

**ANÁLISIS ESPACIAL DEL CRECIMIENTO URBANO DE LA ZONA  
METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA, MEDIANTE  
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**REPORTE FINAL**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

**ESPECIALISTA EN CARTOGRAFÍA AUTOMATIZADA,  
TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**PRESENTA:**

**LIC. GEO. MARÍA MAGALY AGUIRRE TABOADA**

**ASESOR. DR. NOEL B. PINEDA JAIMES**

**JUNIO DE 2018**

---

---



---

---

## ÍNDICE GENERAL

<b>Resumen</b>	8
<b>Introducción</b>	9
<b>Planteamiento del problema</b>	11
<b>Justificación</b>	12
<b>Objetivo general</b>	13
<b>Objetivos Particulares</b>	13
<b>Capítulo I. Marco teórico</b>	
1.1 Antecedentes de los Sistemas de Información Geográfica	15
1.2 Desarrollo y función de los SIG	16
1.3 Antecedentes del tema de estudio	17
1.4 Urbanización	16
1.5 Zona Urbana	18
1.6 Crecimiento urbano	18
1.7 Zona metropolitana	18
1.8 Análisis espacial	20
1.9 Uso de suelo	21
1.10 Método de Pontius	22
1.11 Modelo de cadenas Markov	22
<b>Capítulo II. Caracterización</b>	
2.1 Localización	25
2.2 Uso de suelo	27
2.3 Hidrografía	28
2.4 Orografía	29
2.5 Clima	31
2.6 Áreas Naturales Protegidas	31

---

---



---

---

### **Capítulo III. Metodología**

3.1 Proceso metodológico para la integración de variables	34
3.2 Diseño gráfico metodológico	35
3.3 Integración de información cartográfica de uso del suelo y vegetación de la zona metropolitana del Valle de Toluca, de los años 2011 Y 2016.	36
3. 4 Análisis de la dinámica de los cambios de ocupación del suelo y vegetación siguiendo la metodología de Pontius.	37
3.5 Modelo predictivo de la cadena de Markov	40

### **Capítulo IV. Resultados y discusiones**

4.1 Integración de las variables de uso de suelo y vegetación	43
4.2 Análisis de cambios	47
4.3 Cartografía del modelo predictivo de la zona metropolitana del Valle de Toluca por el método de la cadena de Markov.	50

<b>Conclusiones</b>	52
<b>Recomendaciones</b>	54
<b>Referencias bibliográficas</b>	55

---

---



---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipo de uso de suelo del Valle de Toluca	28
Figura 2. Modelador de cambio de cobertura, software idrisi selva.	38
Figura 3. Herramienta CrosTab, Tabulación cruzada.	40
Figura 4. Distancias de predicción de los cambios del uso de suelo.	40
Figura 5. Herramienta de Idrisi, Transición Potencial	42
Figura 6. Herramienta de Idrisi, predicción de cambios	42
Figura 7. Tabla de atributos del tipo de suelo 2011 y 2016 respectivamente.	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables utilizadas para el procesamiento del análisis de cambio y uso de suelo.	35
Tabla 2. Parámetros de la metodología de Pontius	39
Tabla 3. Análisis de cambio, tabulación cruzada.	48

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Localización de la zona de estudio, Zona metropolitana del Valle de México	27
Mapa 2. Localización de la zona de estudio, Zona metropolitana del Valle de México	29
Mapa 3. Hidrografía de la zona metropolitana del Valle de Toluca	30
Mapa 4. Orografía de la zona metropolitana del Valle de Toluca	31
Mapa 5. Tipo de clima de la zona metropolitana del Valle de Toluca	32
Mapa 6. Áreas Naturales Protegidas de la zona metropolitana del Valle de Toluca	33
Mapa 7. Mapa de uso de suelos de la zona metropolitana del Valle de Toluca serie V, año 2011.	45
Mapa 8. Mapa de uso de suelos de la zona metropolitana del Valle de Toluca serie VI, año 2016.	46
Mapa 9. Mapa del crecimiento urbano de la zona metropolitana del Valle de Toluca, del 2011 al 2016.	47
Mapa 10. Mapa de transición de agricultura a zona urbana de la zona metropolitana del Valle de Toluca.	50
Mapa 11. Mapa predicción del crecimiento urbano al año 2030 de la zona metropolitana del Valle de Toluca.	51

---

---



---

---

## Resumen

Con esta investigación se pretende describir las transformaciones de uso de suelo y vegetación que la zona metropolitana del valle de Toluca ha presentado en el periodo de 1997 al 2016. Se estima que la urbanización ha sido el factor que afecta el cambio de las coberturas Agrícola de riego anual y permanente. Se pretende aplicar herramientas que ayuden identificar los factores que generan este intercambio de cobertura. Las cuales son el uso de la geo tecnología e imágenes de satélite, la realización del análisis de la dinámica de los cambios de ocupación del suelo y vegetación siguiendo la metodología de Pontius, y para la predicción del crecimiento urbano, se utilizó el método de las cadenas de Marcov.

**Palabras clave:** Cambio del uso del suelo, SIG, Método de Pontius Método de las cadenas de Marcov.



---

---

## Introducción

La planificación sostenible de ciudades y regiones es hoy en día un elemento estratégico para el bien estar común de la sociedad. La incorporación de la dimensión territorial y urbana resulta imprescindible para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, más aun si consideramos que las ciudades constituyen en la actualidad piezas claves en el proceso de alteración de los equilibrios ambientales a los que se está siendo el conjunto del planeta la descripción evaluación análisis y explicación de esos cambios y sus consecuencias, así como la propuesta de estrategias que dirijan el crecimiento urbano futuro, son claves fundamentales para mantener y proteger el territorio, los distintos ecosistemas que en él se desarrollan, así como para preservar la calidad de vida de la población que sobre él habita.

La urbanización y el cambio del uso de suelo son temas que se han estudiado en los últimos años con urgencia, debido a la rápida urbanización sin planificación, ignorando en las consecuencias que esto puede generar. Es importante entender las causas y los procesos que han originado estos cambios del suelo y la urbanización en las zonas Metropolitanas de Toluca de Lerdo. Entendemos que los asentamientos urbanos han generado cambios no sólo en el aspecto geográfico y territorial, sino que también tienen implicaciones en términos socioeconómicos y ambientales llevándonos a considerar un mayor número de factores al realizar el análisis de cambio de uso de suelo.

La zona metropolitana del valle de Toluca ha sufrido transformaciones del uso de suelo, sin embargo, en los últimos años la superficie urbana ha ganado terreno arrasando con zonas de vegetación y cultivos. Para Braimoh, (2006) las definiciones tradicionales se basan en factores casuales de cambio, mientras que las definiciones estadísticas se basan solamente en el análisis de la tabulación cruzada, en un sentido estadístico se dice que una categoría de ocupación el suelo aleatoriamente de otras categorías si esas ganancias están en proporción al tamaño de las categorías que pierde de igual forma se dice que una categoría de ocupación del suelo pierde aleatoriamente hacia otras categorías si esas pérdidas están en



---

---

proporción al tamaño de las categorías que ganan, cualquier valor grande ya sea positivo o negativo que se aleja de estas proporciones se considera una transición de tipo sistemático.

La importancia de saber el tamaño del intercambio que sufren el territorio y su ocupación ayuda a calcular las pérdidas, ganancias, cambio total, cambio neto, intercambio de las categorías y las transiciones sistemáticas y aleatorias que podemos analizar en las categorías y aplicar un método de las cadenas de Markov para visualizar la orientación del crecimiento urbano.



---

---

## **Planteamiento del problema**

Las variables espaciales relacionadas al crecimiento urbano disperso implican elevados costos sociales.

A consecuencia de la urbanización encontramos cambios de uso de suelo sin planeación e irregulares y asentamientos sin contemplar riesgos.

El desconocimiento de las causas del crecimiento de las zonas urbanas, principalmente con respecto a las superficies aptas, provoca que exista inconciencia de las variables a contemplar para generar un crecimiento ordenado, a falta de ello los resultados son:

Altos índices de contaminación, hacinamiento, problemas viales, inseguridad, falta de servicios, deficiencia en infraestructura, espacios indisponibles, pobreza, marginación, vulnerabilidad y riesgo geológico.

Las investigaciones de cambio de uso de suelo y vegetación en la zona metropolitana del valle de Toluca no se han llegado a realizar un estudio de las transiciones sistemáticas y aleatorias que se dan en cada categoría y la explicación del porque ha cambiado el territorio en los últimos años.





---

---

## Justificación

El presente estudio pretende describir mediante el uso de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) un análisis espacial del crecimiento urbano en zona metropolitana de la zona metropolitana del valle de Toluca que se ha registrado en el año 2011 al 2016 y en base a la información generada, proveer de información valiosa que permita, entre otras cosas, aplicar modelos de expansión urbana que den una visión sobre la tendencia actual, que ha sido desmedida, caótica y que por ende no ha permitido a las dependencias responsables, realizar una adecuada planificación.



---

---

## Objetivo general

Realizar un análisis espacial del crecimiento urbano de la zona metropolitana del Valle de Toluca a través y SIG.

## Objetivos Particulares

- Elaborar un diagnóstico de cambio de uso y cobertura del suelo del período 2011-2016.
- Identificar los usos y cobertura que aportan al crecimiento urbano.
- Elaborar un mapa donde se visualice el crecimiento urbano del 2016 en comparación del 2011.
- Aplicar método de predicción con las cadenas de Markov.



# Capítulo I

## Marco Teórico





---

---

## 1.1 Antecedentes de los Sistemas de Información Geográfica

La primera experiencia relevante en esta dirección la encontramos en 1959, cuando Waldo Tobler define los principios de un sistema denominado MIMO (map in--map out) con la finalidad de aplicar los ordenadores al campo de la cartografía. En él, establece los principios básicos para la creación de datos geográficos, su codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado. Estos son los elementos principales del *software* que integra un SIG, y que habrán de aparecer en todas las aplicaciones desarrolladas desde ese momento.

El primer Sistema de Información Geográfica formalmente desarrollado aparece en Canadá, al auspicio del Departamento Federal de Energía y Recursos. Este sistema, denominado CGIS (Canadian Geographical Information Systems), fue desarrollado a principios de los 60 por Roger Tomlinson, quien dio forma a una herramienta que tenía por objeto el manejo de los datos del inventario geográfico canadiense y su análisis para la gestión del territorio rural. El desarrollo de Tomlinson es pionero en este campo, y se considera oficialmente como el nacimiento del SIG. Es en este momento cuando se acuña el término, y Tomlinson es conocido popularmente desde entonces como «el padre del SIG».

La aparición de estos programas no solo implica la creación de una herramienta nueva, sino también el desarrollo de técnicas nuevas que hasta entonces no habían sido necesarias. La más importante de ellas es la codificación y almacenamiento de la información geográfica, un problema en absoluto trivial que entonces era clave para lograr una usabilidad adecuada del *software*. El trabajo de Guy Morton con el desarrollo de su *Matriz de Morton* juega un papel primordial (Foresman1998Prentice), superando las deficiencias de los equipos de entonces, tales como la carencia de unidades de almacenamiento con capacidad de acceso aleatorio, que dificultaban notablemente el manejo y análisis de las bases de datos. En el Harvard Laboratory, ve la luz en 1964 SYMAP, una aplicación que permitía la entrada de información en forma de puntos, líneas y áreas, lo cual se corresponde a grandes rasgos con el enfoque que conocemos hoy en día como vectorial. No obstante, el interés que despertaron las novedosas



---

---

capacidades En 1969, utilizando elementos de una versión anterior de SYMAP, David Sinton, también en el Harvard Laboratory, desarrolla GRID, un programa en el que la información es almacenada en forma de cuadrículas. Hasta ese momento, la estructura de cuadrículas regulares era solo utilizada para las salidas de los programas, pero no para la entrada y almacenamiento de datos. Son los inicios de los Sistemas de Información Geográfica ráster.

## 1.2 Desarrollo y función de los SIG

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. **Localización:** preguntar por las características de un lugar concreto.
2. **Condición:** el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
3. **Tendencia:** comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
4. **Rutas:** cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
5. **Pautas:** detección de pautas espaciales.



---

---

6. **Modelos:** generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles, el campo de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

### **1.3 Antecedentes del tema de estudio**

Gran parte de las ciudades en el mundo experimentan hoy importantes cambios en sus estructuras socioeconómicas y políticas, en una relación de hechos y efectos que generan transformaciones esenciales en su configuración y producción del espacio urbano hacia el siglo XXI. Estas transformaciones han tenido diversos efectos e implicaciones que llegan a ser de una complejidad atribuidas comúnmente a las dinámicas surgidas como parte de los conflictos acumulados desde mediados del siglo XX con parte del modelo extensivo de crecimiento urbano, situación que ha llevado a los diferentes actores a buscar estrategias que permitan cierta estabilidad en el desarrollo general de las comunidades.

### **1.4 Urbanización**

La proporción de un país que corresponde al medio, La urbanización es el proceso mediante el cual las poblaciones se mueven del campo al área urbana, permitiendo que las ciudades crezcan. También puede denominarse como el aumento progresivo del número de personas que viven en pueblos y ciudades, con base en la noción de que ahí se han alcanzado mejores niveles económicos, políticos y sociales en comparación con las áreas rurales.



---

---

## 1.5 Zona Urbana

La definición de “urbano” cambia de un país a otro y, con las reclasificaciones periódicas, también puede variar a lo largo del tiempo dentro de un mismo país, lo que dificulta las comparaciones directas. Una zona urbana se puede definir por medio de uno o más de los siguientes factores: criterios administrativos o fronteras políticas (como formar parte de la jurisdicción de un municipio o comité de la ciudad); el tamaño de la población (cuando el número mínimo de habitantes en los asentamientos urbanos de la región es de 2.000, aunque puede oscilar entre 200 y 50.000); la densidad demográfica; la función económica (por ejemplo, cuando la actividad primordial de una gran mayoría de los habitantes no es la agricultura, o cuando existe empleo de sobra); y la existencia de características urbanas (como calles pavimentadas, alumbrado público o alcantarillado). En 2010 vivían en zonas clasificadas como urbanas 3.500 millones de personas<sup>8</sup>.

## 1.6 Crecimiento urbano

Según la UNICEF (Fondo de las naciones unidas para la infancia) el crecimiento urbano, El aumento (relativo o absoluto) en el número de personas que viven en los pueblos y las ciudades. El ritmo de crecimiento de la población urbana depende del aumento natural de dicha población y de los nuevos habitantes que adquieren estas zonas, debido, por una parte, a la migración neta del campo a las ciudades y, por otra parte, a la reclasificación de los asentamientos rurales en ciudades y pueblos.<sup>1</sup>

## 1.7 Zona metropolitana

De acuerdo con el INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) define como zona metropolitana al conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración



---

---

socioeconómica; en esta definición se incluye además a aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y política urbanas.

Luis Unikel, quien en 1976 definió el concepto de “zona metropolitana” como: “... la extensión territorial que incluye a la unidad político-administrativa que contiene la ciudad central, y las unidades político-administrativas contiguas a ésta que tienen características urbanas, tales como sitios de trabajo o lugares de residencia de trabajadores dedicados a actividades no agrícolas y que mantienen una interrelación socioeconómica directa, constante e intensa con la ciudad central, y viceversa” (Unikel, 1978).

Se define como zona metropolitana al conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica; en esta definición se incluye además a aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y política urbanas.

Para la delimitación de las zonas metropolitanas se definieron a su vez tres grupos de municipios metropolitanos.

1. Municipios centrales.
2. Municipios exteriores definidos con base en criterios estadísticos y geográficos.
3. Municipios exteriores definidos con base en criterios de planeación y política urbana.





---

---

## 1.8 Análisis espacial

El análisis espacial pone en evidencia estructuras y formas de organización espacial recurrentes, que resumen por ejemplo los modelos centro-periferia, los campos de interacción de tipo gravitatorio, las tramas urbanas jerarquizadas, los diversos tipos de redes o de territorios, etc.

Analiza los procesos que se encuentran en el origen de esas estructuras, a través de conceptos como los de distancia, de territorialidad, de interacción espacial, de alcance espacial, de polarización, de centralidad, de estrategia o elección espacial.

Las leyes de la espacialidad vinculan esas formas y esos procesos, y están integradas en las teorías y los modelos del funcionamiento y la evolución de los sistemas espaciales.

Este tipo de análisis se aplica en campos relacionados con la ordenación del territorio (urbanismo, geomarketing, desarrollo rural, realización de obras públicas, ubicación óptima de elementos, prevención de riesgos naturales, turismo, etc.), y sus resultados han dado interesantes frutos en estudios de otras disciplinas afines a la geografía como la economía espacial, la historia, a la agronomía, la arqueología o las ciencias medioambientales. A través de ellos se establecen:

- Relaciones de proximidad.
- Conectividad.
- Áreas de influencia.
- Cálculo de rutas.
- Control de flotas.
- Estudio de redes.



---

---

De modo formal, podemos decir que el análisis espacial es el estudio cuantitativo y cualitativo de aquellos fenómenos que se manifiestan en el espacio. Ello indica una importancia clave de la posición, la superficie, la distancia y la interacción a través del propio espacio. Para que estos conceptos cobren sentido, se necesita que toda la información esté referenciada espacialmente.<sup>5</sup>

### **1.9 Uso de suelo**

La complejidad de las causas, procesos y consecuencias del cambio del suelo ha impedido hasta ahora el desarrollo de una teoría integrada del cambio de uso de suelo. La necesidad de distinguir entre la cobertura del suelo y del uso del suelo para dar cuenta de sus interacciones entre los procesos socio-económicos y biofísicos es una fuente de complejidad. Por otra parte, los procesos de cambio de uso de suelo están denominados por múltiples agentes, los usos múltiples del suelo, las respuestas múltiples a los cambios sociales, climáticas y ecológicas, múltiples escalas espaciales y temporales en las causas y las respuestas al cambio, múltiples conexiones en el espacio social y geográfico, y múltiples vínculos entre la población y el territorio. Causas y consecuencias del cambio de uso del suelo dependen de contexto social, geográfico e histórico. (Lambin y Geist, 2006 en moreno 2012).

Las causas y consecuencias de la urbanización y los cambios de uso del suelo necesitan ser estudiadas y analizadas en diferentes escalas geográficas como son los Sistemas de Información Geográficas.

En la literatura del tema es frecuente encontrar los términos “cubierta”, “cobertura” y “uso de suelo” como sinónimos; por tal motivo consideramos oportuno hacer una breve revisión significado y su aplicación cobertura en inglés (Coverage); se utiliza especialmente en relación con la vegetación y se define como el porcentaje del área que cubre en la superficie del suelo la proyección de un tipo de vegetación particular, es decir la densidad de la cubierta.



---

---

Mather, (1986) Mayer y Turner, (1994) han dejado claro los conceptos de “cubierta del suelo” se refiere a la naturaleza o forma física de la superficie del terreno, que puede ser identificada visualmente en campo o a través de medios de percepción remota; mientras que, “uso del suelo” expresa el aprovechamiento o los fines económicos de esas coberturas.

Los estudios del cambio del suelo deben ser estudiados de acuerdo la dinámica del territorio, de los arreglos, actividades y demás aportaciones que el hombre realiza en un cierto tipo de cobertura de la tierra, tierra, para cambiarla o mantenerla. Existe, por lo tanto, un vínculo directo entre la cobertura de la tierra y el uso del suelo.<sup>10</sup>

### **1.10 Método de Pontius**

Matriz de tabulación cruzada (Pontius et al., 2004) P representa la proporción de un uso del suelo que hace una transición de una categoría a otra. Así, en la diagonal, indica la proporción de persistencia de la categoría x, mientras que el resto de celdas indican una transición de la categoría y a una categoría diferente. Las pérdidas están expresadas como la diferencia de categoría entre el tiempo 1 y el tiempo 2, y las ganancias están expresadas como la diferencia de categoría entre el tiempo 1 y el tiempo 2. El cambio neto es la diferencia, en valor absoluto, entre las pérdidas y las ganancias de cada categoría. El cambio total es el resultado de la suma de las ganancias y las pérdidas. El intercambio es el doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas o, lo que es lo mismo, la diferencia entre el cambio total y el cambio neto.

### **1.11 Modelo de cadenas Markov**

Los sistemas de información geográfica se han enfocado principalmente a los análisis y a la modelación, las cadenas de markov que ha sido una herramienta complementaria del SIG IDRISI para complementar los análisis de series temporales.

Recibe este nombre gracias al matemático Andrei Markov lo define como una serie de eventos en la cual la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento



---

---

inminente anterior. Las cadenas de este tipo recuerdan el último evento y eso condiciona las posibilidades de evento futuros. (Sánchez, 2012 en Domínguez 2016.)

Esta función permite integrar la modelización temporal (basándose en una serie cronológica de usos de suelo) y la lógica basada en la evaluación multicriterio y multiobjetivo (mediante la puesta en relación de las categorías de usos del suelo y un conjunto de variables de diversa naturaleza que pueden explicar o describir su dinámica), es decir complementa el análisis multitemporal con el análisis multi variable para obtener una modelización más ajustada a la dinámica real de los paisajes. Además de ello, algoritmo de automatismo celular mide la contigüidad local e incrementa la probabilidad de pertenecer a una categoría por vecindad.



## Capítulo II

# Caracterización





---

---

## 2.1 Localización

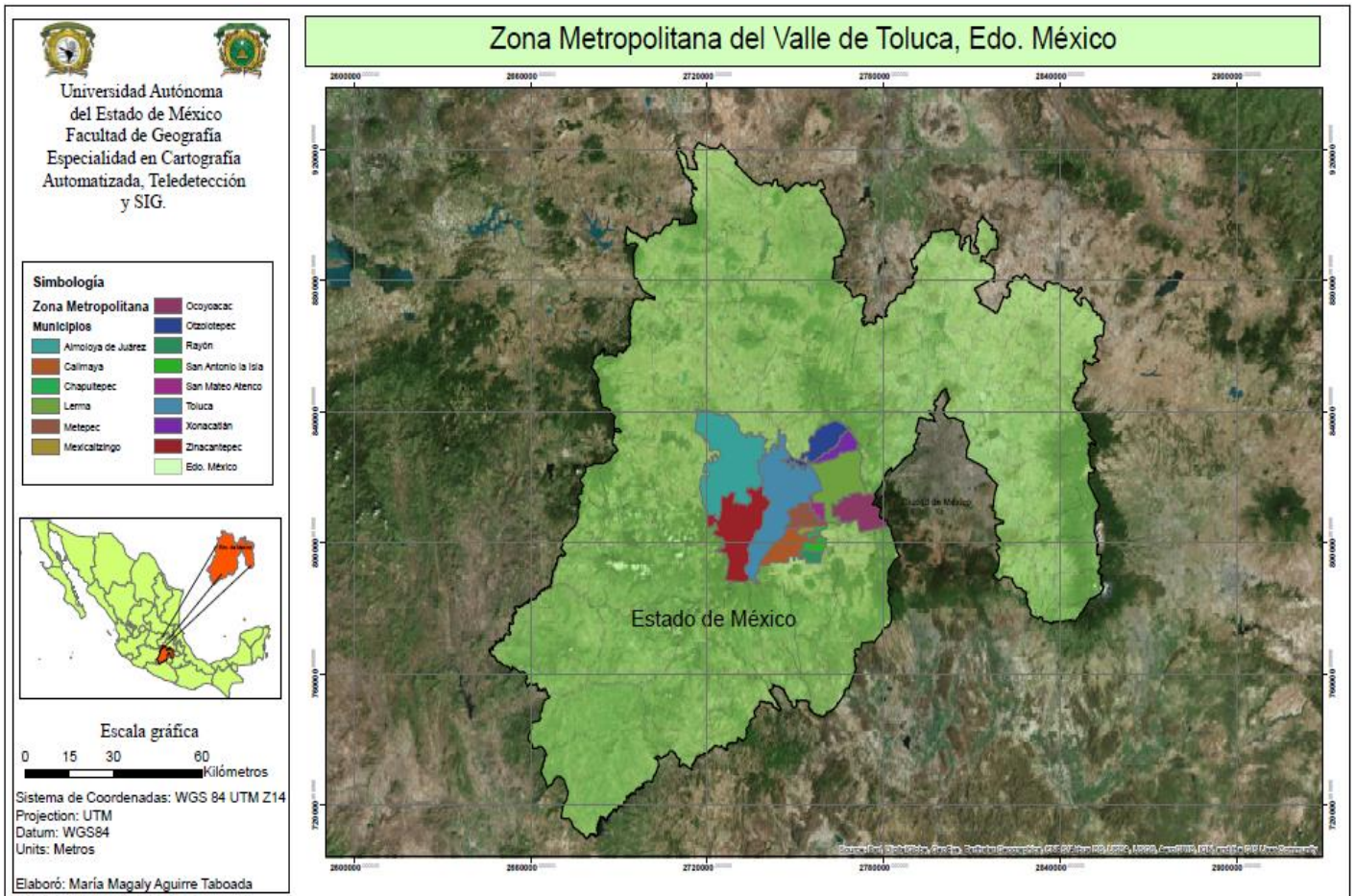
La Zona Metropolitana del Valle de Toluca es un área metropolitana de México ubicada dentro del Estado de México y compuesta por 15 municipios (mapa 1). Es la segunda zona metropolitana más grande del estado en cuanto a tamaño y población. Es parte de la Megalópolis de México se encuentra entre los paralelos 19° 17' 0.67" de latitud Norte; y 99° 39' 21.03" de longitud Oeste, (INEGI, 2009).

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca está conformada por los siguientes municipios:

1. Almoloya de Juárez
2. Calimaya
3. Chapultepec
4. Lerma
5. Metepec
6. Mexicaltzingo
7. Ocoyoacac
8. Otzolotepec
9. Rayón
10. San Antonio la Isla
11. San Mateo Atenco
12. Temoaya
13. Toluca
14. Xonacatlán
15. Zinacantepec



Mapa 1. Localización de la zona de estudio, Zona metropolitana del Valle de México



Fuente: Elaboración propia desde la plataforma de ArcGis 10.3





## 2.2 Uso de suelo

El conocimiento de las cubiertas y usos del suelo es un aspecto fundamental para el estudio del paisaje, y tiene como fin la planificación y el ordenamiento del territorio. Es frecuente encontrar confusión entre los conceptos de cubierta de suelo y uso del suelo, aunque algunos autores han dejado muy clara la diferencia entre uno y otro.

Cubierta del suelo se refiere a la naturaleza o forma física de la superficie del terreno, que puede ser identificada visualmente en campo a través de medios de percepción remota; mientras que uso del suelo expresa el aprovechamiento o los fines económicos de esas cubiertas. La confusión radica en que alguna cubierta lleva implícito un uso (cultivos/uso agrícola) aunque no siempre hay una relación directa (bosque/ uso silvícola, conservación o recreación). Las fuentes de información que aportan los mejores resultados en la elaboración cartográfica de estos temas son las fotográficas convencionales (escalas medias y grandes) y las imágenes obtenidas por satélites espaciales (para trabajar a diferentes escalas), siempre y cuando se complementen con trabajo de campo (Ramírez, 2001) (ver mapa 2).

Figura 1. Tipo de uso de suelo del Valle de Toluca

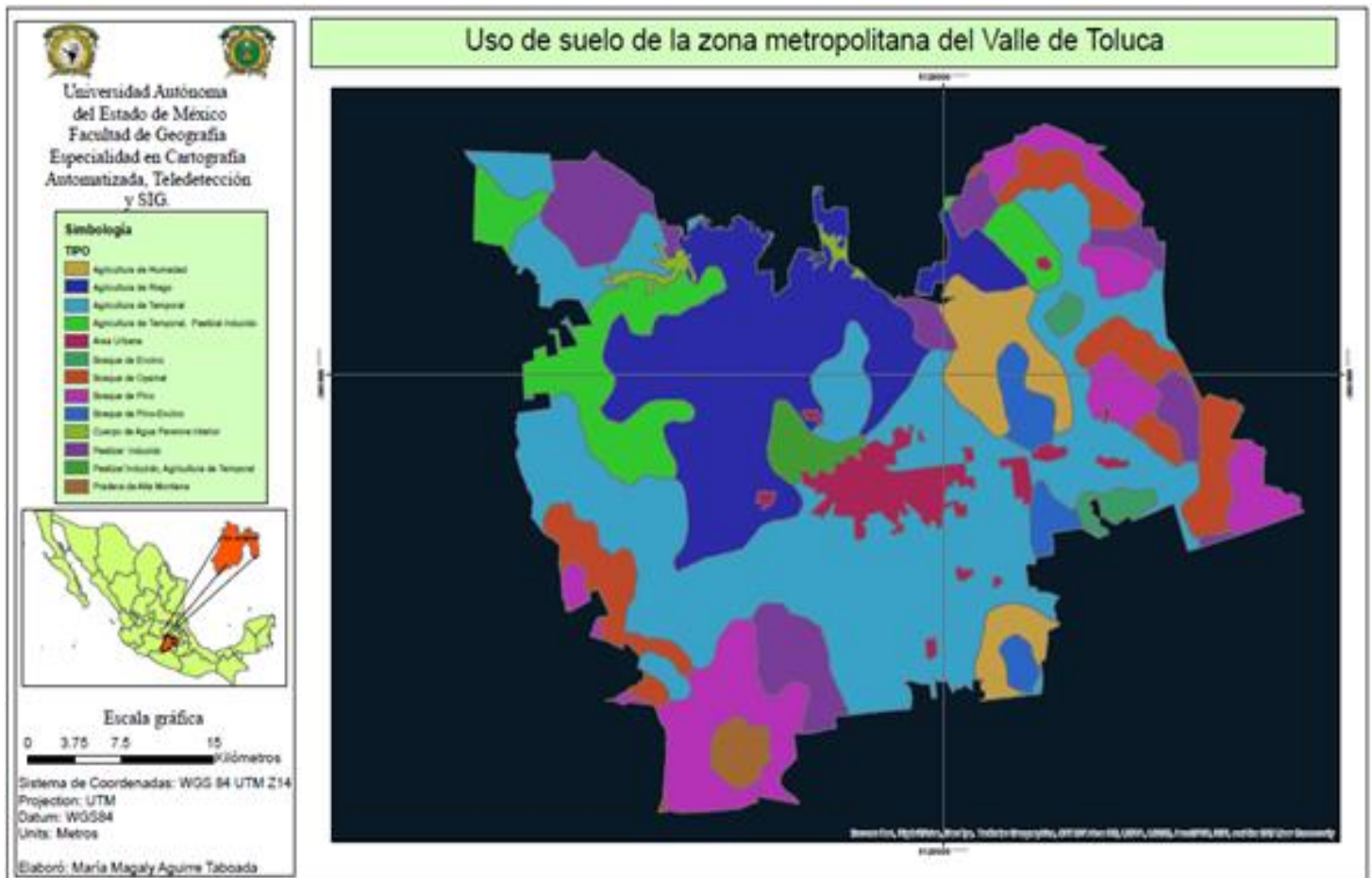
Clave	Tipo de suelo
BA	Bosque de Oyamel
BC	Bosque cultivado
BP	Bosque de Pino
BQ	Bosque de encino
BPQ	Bosque de Pino-encino
BQP	Bosque de encino-pino
DV	Sin vegetación aparente
H2O	Cuerpo de agua
HA	Agricultura de humedad anual
PI	Pastizal inducido
RA	Agricultura de riego anual
RS	Agricultura de riego semiaparente
TA	Agricultura de temporal anual
TAP	Agricultura de temporal anual y permanente
VSA/BA	Veg. Sec. arbustiva de bosque oyamel
VSA/BA	Veg. Sec. Arbórea de bosque de oyamel
VSA/BP	Veg. Sec. Arbustiva de bosque de pino
VSA/BP	Veg. Sec. Arbórea de bosque de pino
VSA/BQ	Veg. Sec. Arbustiva de bosque de encino
VT	Tular
VW	Pradera de alta montaña
ZU	Zona Urbana

Fuente. INEGI. Carta de uso de suelo y vegetación. Serie VI. Escala 1:250,000





Mapa 2. Localización de la zona de estudio, Zona metropolitana del Valle de México



Fuente: Elaboración propia desde la plataforma de ArcGis 10.3, recuperado de INEGI

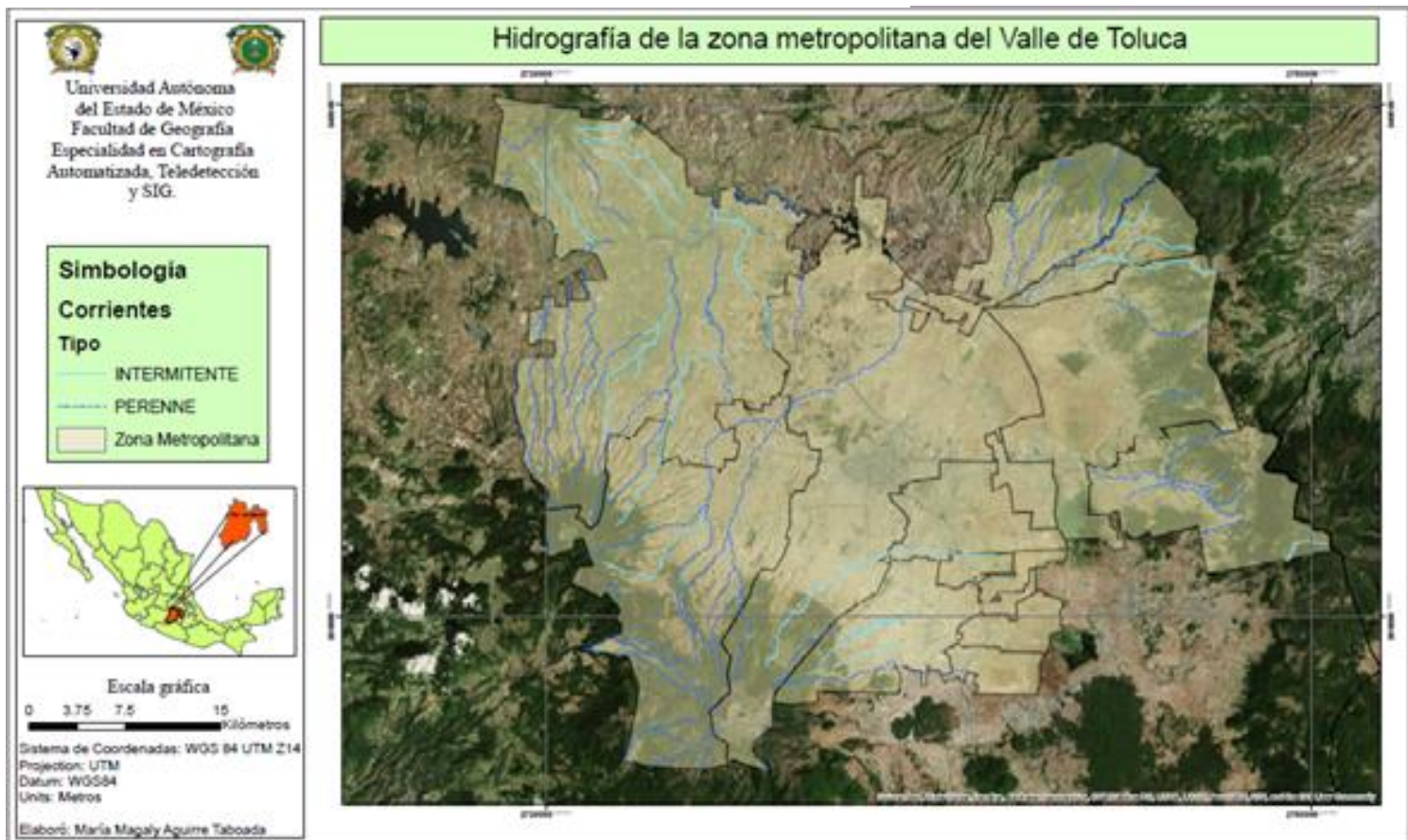
### 2.3 Hidrografía

El río Xicualtenco o Verdiguél cruza la cabecera municipal y desemboca en el río Lerma. El río Tecaxic, se alimenta de algunos arroyos como el de San Marcos y otros temporales.

Además de cinco manantiales: Terrilleros, El Cano, Agua Bendita, Zacango y las Conejeras; 101 pozos que abastecen a la zona urbana y rural; 24 arroyos de corrientes intermitentes; 61 bordos, 2 lagunas, 2 acueductos y 20 presas de almacenamiento (ver mapa 3).



Mapa 3. Hidrografía de la zona metropolitana del Valle de Toluca



Fuente: Elaboración propia desde la plataforma de ArcGis 10.3, recuperado de INEGI

## 2.4 Orografía

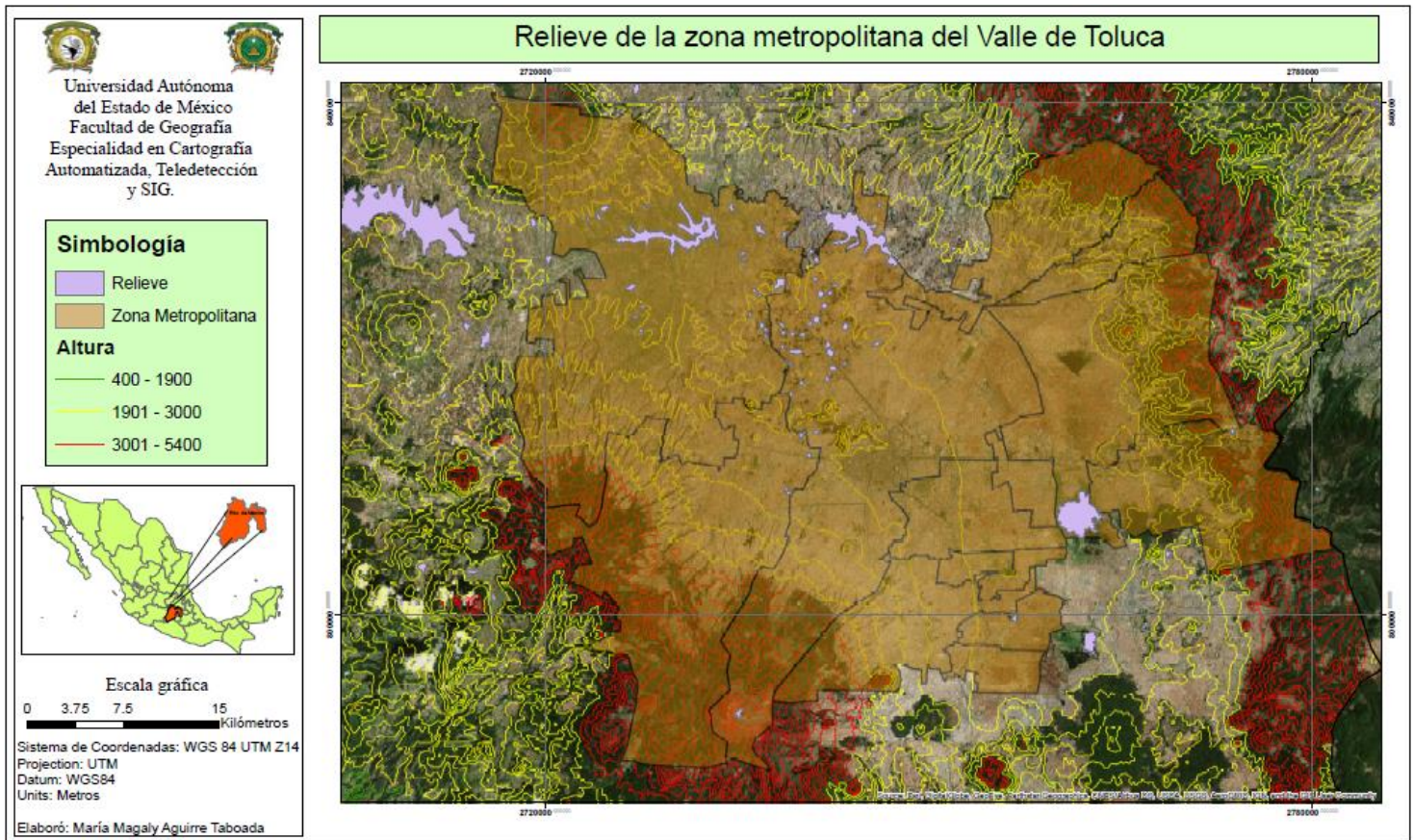
El nivel volcánico más importante es el Xinantécatl o Nevado de Toluca, formado por emisiones alternas de productos piroclásticos y derrames. En la parte central, junto a la cabecera municipal, se alza un sistema de cerros con ramificaciones. Está formado por los cerros de Huitzila, Cópore, Zopilocalco, Toloche y San Miguel, que al suroeste y oeste forman La Teresona, una colina en declive que se conecta en uno de sus extremos con el pequeño cerro de Coatepec; en el centro de la ciudad se alza el Calvario.





Hacia el sur de la cabecera está el cerro de Tlacotepec; al norte el de Miltepec y el de Santa Cruz, en cuyo lomerío se unen la Teresona y el Tenishmo o cerro de Calixtlahuaca. Describiendo una elevación hacia el suroeste se encuentra una cadena de lomas que culmina en el cerro de Tecaxic. (ver mapa 4).

Mapa 4. Orografía de la zona metropolitana del Valle de Toluca



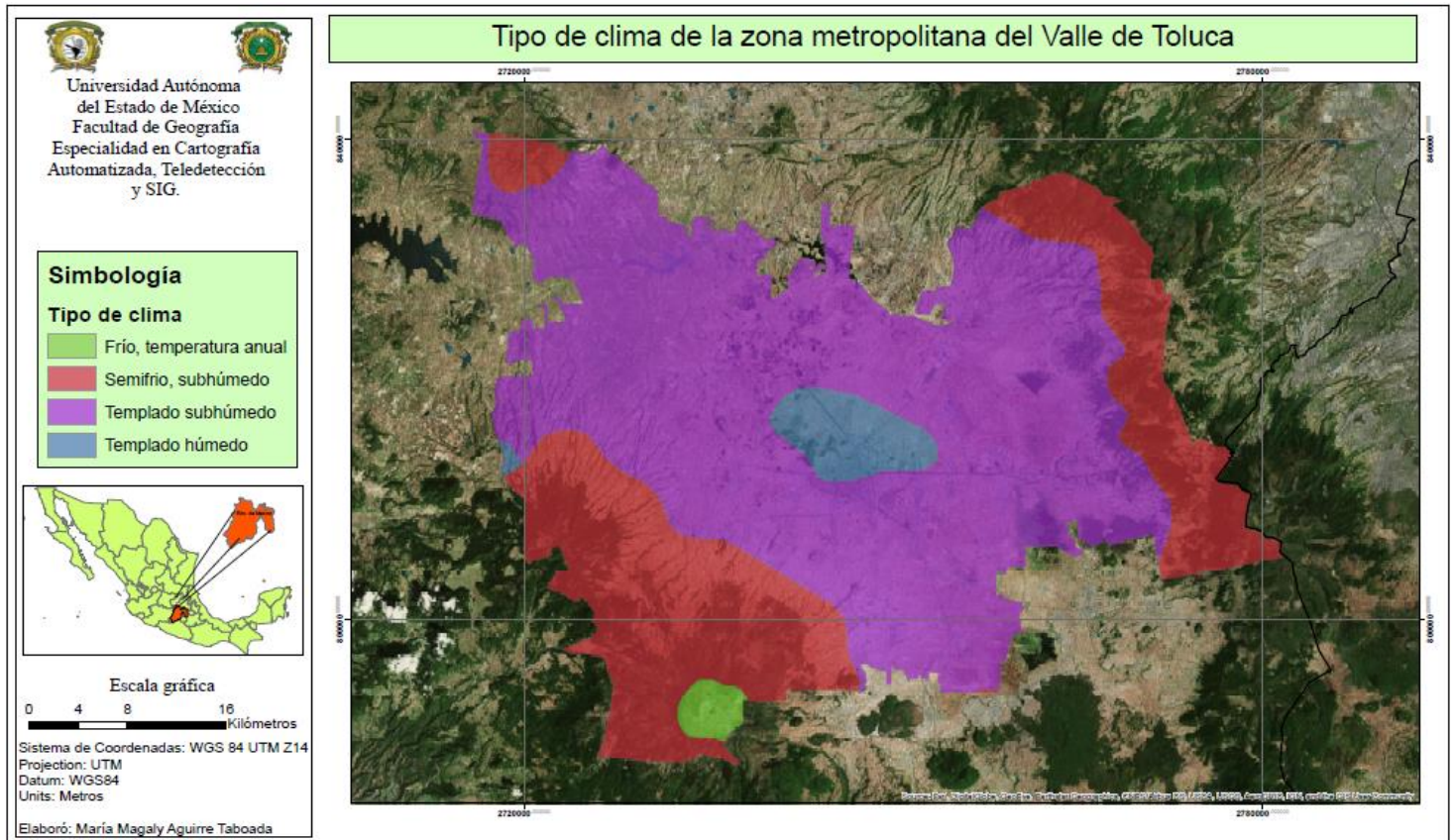
Fuente: Elaboración propia desde la plataforma de ArcGis 10.3, recuperado de INEGI



## 2.5 Clima

El clima del municipio está clasificado como templado sub-húmedo. La temperatura media anual es de 13.7°C. La precipitación media anual varía de 1,000 a 1,200 mm. Las heladas son de 80 a 140 días en la época fría (ver mapa 5).

Mapa 5. Tipo de clima de la zona metropolitana del Valle de Toluca



Fuente: Elaboración propia desde la plataforma de ArcGis 10.3, recuperado de INEGI

## 2.6 Áreas Naturales Protegidas

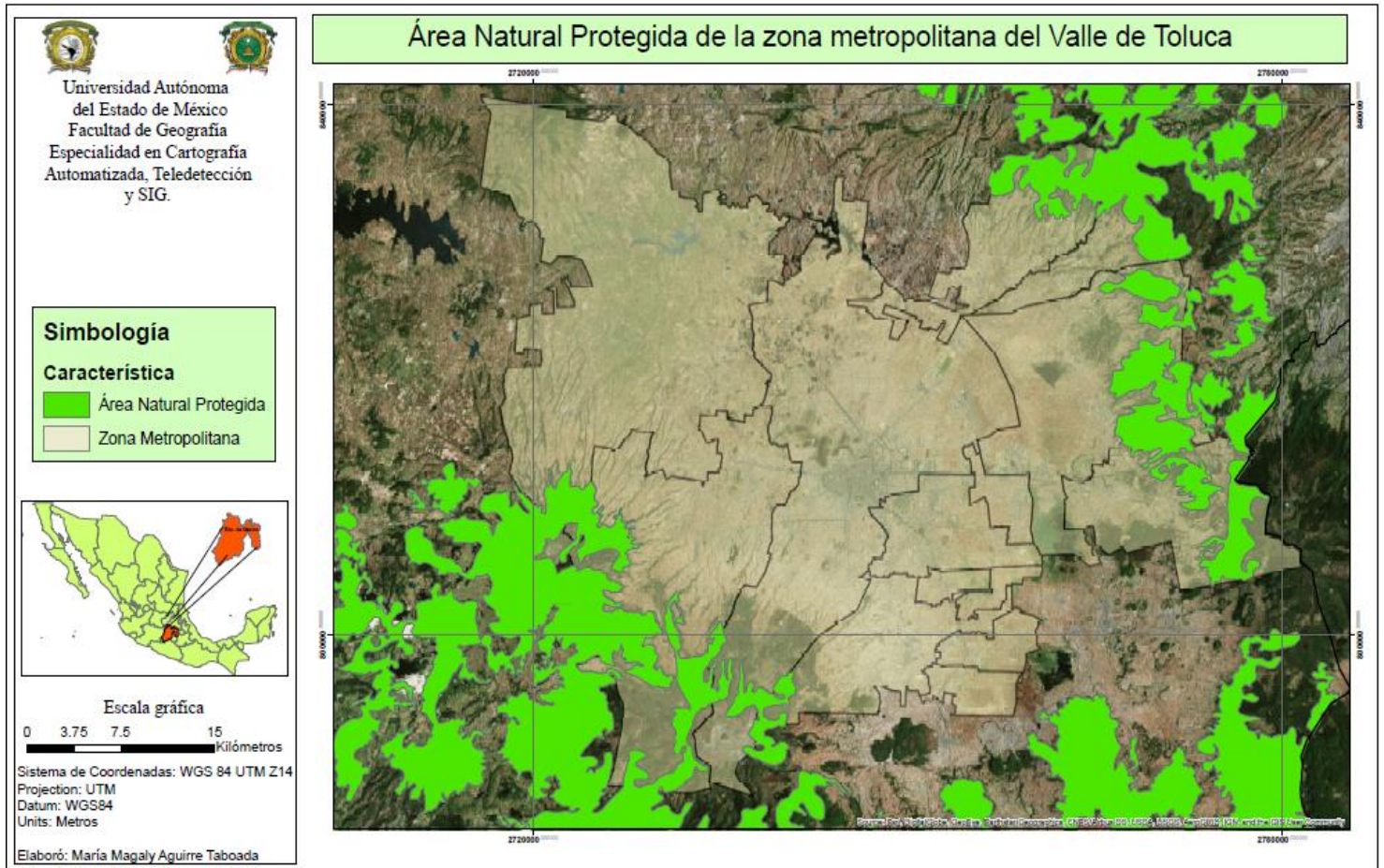
El Estado de México cuenta con 88 Áreas Naturales Protegidas. Es la entidad con el mayor número de ellas en el país. Suman un total de 983,984.04 Has., que representan aproximadamente el 43.75 % del territorio estatal.





A la fecha se tienen 28 Programas de Conservación y Manejo publicados, los que representan una superficie de 398,115.50 Has., equivalente al 40.45 % de la superficie protegida (ver mapa 6).

Mapa 6. Áreas Naturales Protegidas de la zona metropolitana del Valle de Toluca



Fuente: Elaboración propia desde la plataforma de ArcGis 10.3, recuperado de INEGI



## **Capítulo III**

### **Metodología**



### 3.1 Proceso metodológico para la integración de variables

En la presente metodología se calculan las pérdidas, ganancias, cambios netos, intercambios y transiciones sistemáticas entre categorías aplicando los métodos desarrollados por Pontius 2004.

En la siguiente tabla se presentan los insumos utilizados para la elaboración del análisis de cambio de suelo y predicción del crecimiento urbano.

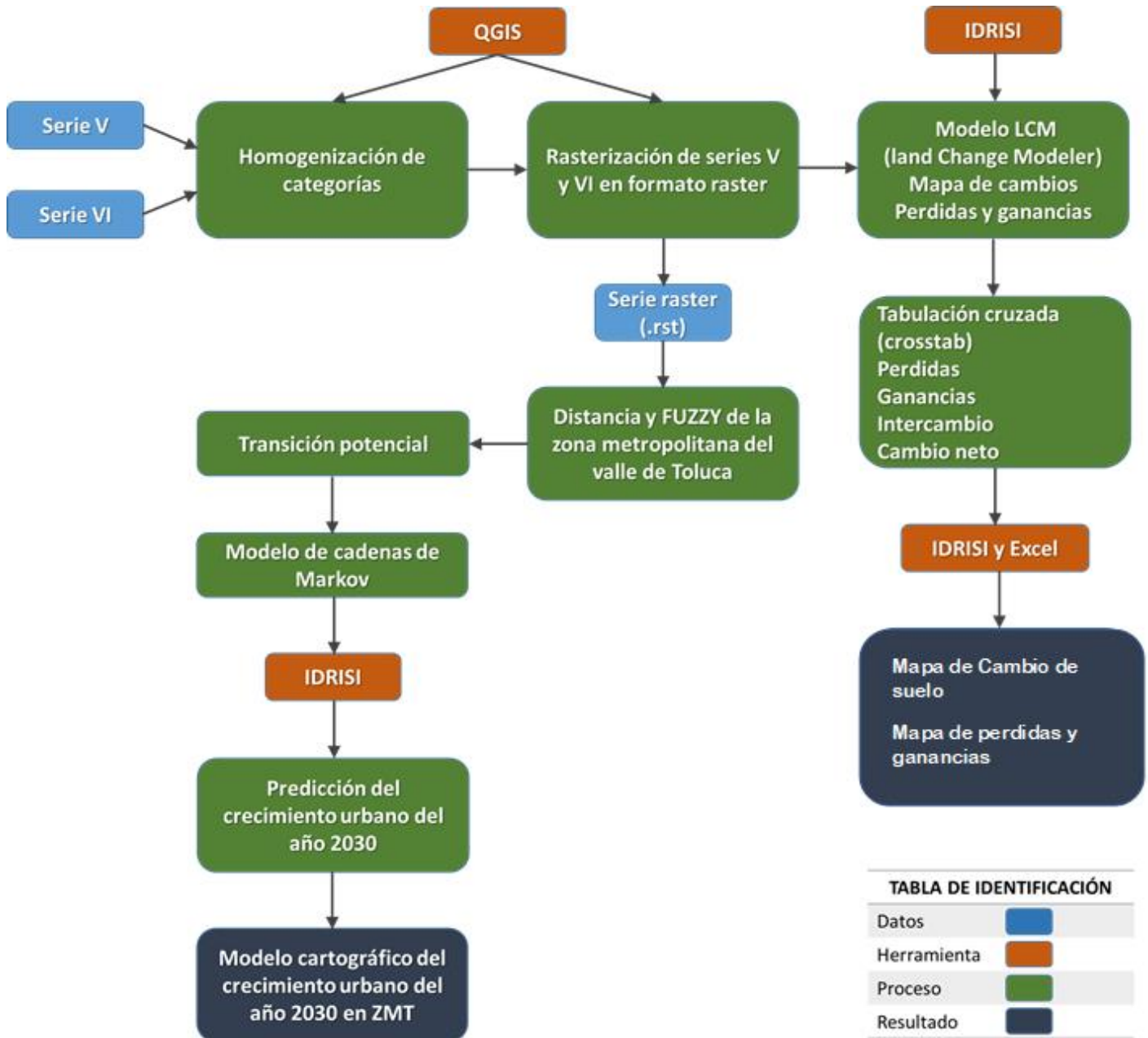
Tabla 1. Variables utilizadas para el procesamiento del análisis de cambio y uso de suelo.

Insumo	Fuente	Escala	Variable
<b>Zona metropolitana del Valle de Toluca</b>	División política estatal 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Estado de México	1:250000	Límite Estatal
<b>Serie V uso de suelo y vegetación del año 2011</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Estado de México	1:250000	Uso de suelo y vegetación
<b>Serie VI uso de suelo y vegetación del año 2016</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) Estado de México	1:250000	Uso de suelo y vegetación

Fuente: Elaboración propia, recuperado de INEGI



### 3.2 Diseño gráfico metodológico







---

---

### **3.3 Integración de información cartográfica de uso del suelo y vegetación de la zona metropolitana del Valle de Toluca, de los años 2011 Y 2016.**

Se realizó la obtención de datos en la página general de INEGI, Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión y serie V. Capa Unión.

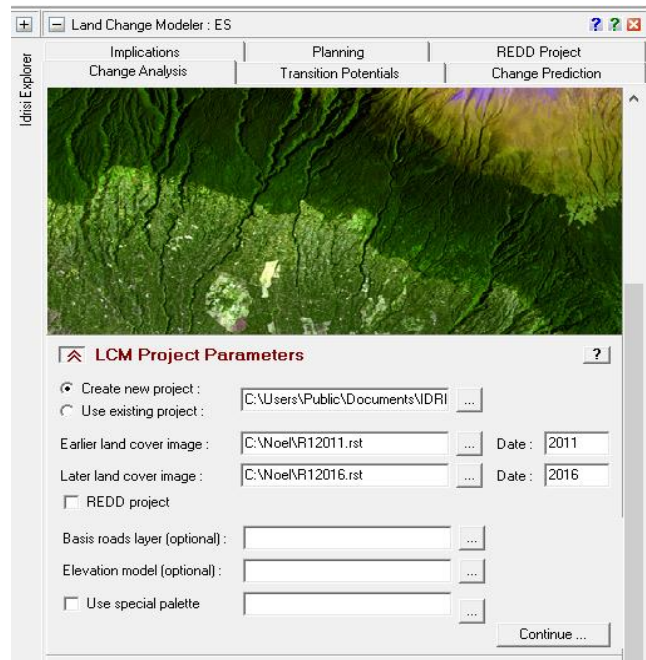
De los archivos vectoriales se realizó un recorte de la zona metropolitana, el requisito fue tener elaborada la misma leyenda temática para las dos fechas, con el propósito de que sean realmente comparables. Para efectos de cuantificar la presencia de cada cobertura.

En el software de Idrisi selva, se realizó la clasificación de las variables de las tablas generadas del año 2011 y 2016, para la comparación del uso de suelo y vegetación, de acuerdo a la metodología de Pontius (2004), todo archivo generado en formato ráster.

Se utilizó la herramienta *Modeling-environmental/simulation-Models-Land Change modeler* (figura 2), que permite evaluar y cuantificar los cambios de ocupación del suelo así como las ganancias y las pérdidas, cambio neto y contribuciones que aportan cada una de las categorías donde se ingresaron los datos de los años 2011 y 2016 haciendo un análisis de cobertura, calculando sus respectivas áreas y a partir de esta información se generó una gráfica multitemporal de pérdidas y ganancias, en donde se presentan y cualifican los cambios en la cobertura presentes entre 2011 y 2016, lo que permite observar, no sólo las zonas de cambio y magnitud del cambio sino también comparar la cobertura en ambos años. La detección de cambios en la cobertura y uso del suelo de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca se realizó a través de un procedimiento de intersección entre las coberturas.



Figura 2. Modelador de cambio de cobertura, software idrisi selva.



Fuente: Idrisi selva 17.0

### 3. 4 Análisis de la dinámica de los cambios de ocupación del suelo y vegetación siguiendo la metodología de Pontius.

Para realizar la metodología de Pontius es necesario trasladar los resultados de la tabulación cruzada a Excel para proceder a realizar los cálculos que sugiere esta metodología. Las operaciones que se necesitan realizar se presentan en la siguiente tabla.



Tabla 2. Parámetros de la metodología de Pontius

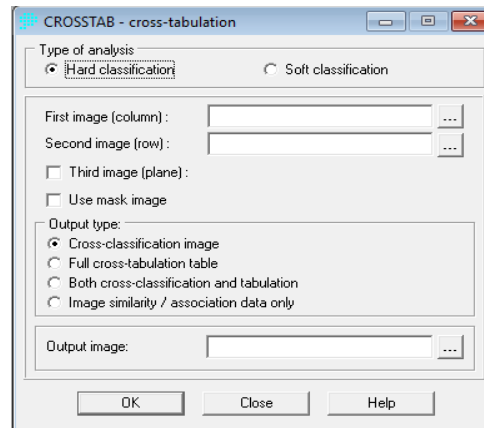
Parámetro	Fórmula	Descripción
<b>Cambio neto</b>	Valores absolutos (pérdida - ganancia)	Es la resta de la pérdida y la ganancia en valores absolutos, indica el total de lo que en realidad se perdió o ganó en valores netos.
<b>Cambio total</b>	Pérdida + ganancia	Es la suma de la pérdida y la ganancia, y nos indica el cambio total que representa la cobertura.
<b>Ganancia</b>	Suma total por fila - persistencia	Representa la suma total de las filas de las categorías menos la persistencia (diagonal de la matriz cruzada).
<b>Pérdida</b>	Suma total por columna - persistencia	Representa la suma total de las columnas de las categorías menos la persistencia (diagonal de la matriz cruzada).
<b>Intercambio</b>	2 * mínimo valor (pérdida y ganancia).	Representa el doble del valor mínimo de las ganancias y las pérdidas.

Fuente: Elaboración propia, desde la metodología propuesta por Pontius.

Se utilizó la herramienta Cross Tab (figura 3), para la elaboración de la pérdida y ganancia de la cobertura del suelo (figura 4), se utilizó el ráster nuevo de año 2011 como la columna y el ráster nuevo 2016 como la fila, el resultado fue las cantidades de los tamaños de pixel, se procedió trabajar en Excel para seguir con el proceso de conversión de pixel a hectárea considerando la zona de estudio el tamaño de celda fue de 125 por 125 tomando en cuenta que una hectárea es igual 10000 metros.

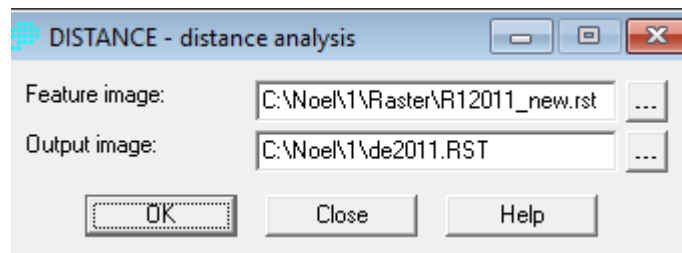


Figura 3. Herramienta CrosTab, Tabulación cruzada.



Fuente: Idrisi selva 17.0

Figura 4. Distancias de predicción de los cambios del uso de suelo.



Fuente: Idrisi selva 17.0

Los resultados obtenidos se exportaron a Excel, se procede a realizar una conversión de los pixeles a hectáreas.

Formula:  $(\text{resolución de la imagen X}) * (\text{resolución de la imagen y}) / 1000$ .

El resultado de la operación anterior se multiplica por los valores de cada de cada una de las columnas de la tabulación cruzada y se obtiene los valores en hectárea (se anexa en los resultados).

Se construye una matriz de tabulación cruzada donde la fila contienen la superficie del tiempo uno, mientras que las columnas muestran la superficie en el tiempo dos para poder obtener las pérdidas de cada categoría.



---

---

La columna de pérdidas muestra la superficie de cada una de las categorías que sufrieron pérdidas entre el tiempo uno y el tiempo dos, lo que significa que es la diferencia entre la fila del total del tiempo uno y tiempo dos:

$$P = P_j + -P_{ij}$$

La fila de las ganancias muestra la superficie de cada una de las categorías j que tuvieron ganancias entre el tiempo un y tiempo dos, lo que significa que es la diferencia entre a columna del total del tiempo dos y la persistencia.

$$G = P_{+j} - P_{ij}$$

El cambio neto se define como el valor absoluto de la diferencia de las pérdidas y las ganancias en cada categoría:

$$CN = |P - G|$$

Al finalizar el cálculo se obtuvieron los mapas de uso de suelo clasificado del año 2011 y año 2016, mapa de cambio de uso de suelo, mapa de ganancias y pérdidas y mapa e intercambio.

Los totales de categorías representan 100% del área de estudio, además expresan los cambios de manera dispersa y exponen los impactos y consecuencias que han alterado el paisaje de la zona metropolitana del valle de Toluca

### **3.5 Modelo predictivo de la cadena de Markov**

Se procedió a la realización del modelo predictivo en el cual se utilizó el modelo de la cadena de Markov por medio de la herramienta IDRISI selva, para realizar la predicción del crecimiento urbano del Valle de Toluca fue necesario ejecutar en la herramienta *Distance* Según R. Miranda et. (2011) las distancias se utilizan para predecir los cambios den el uso de suelo.



Las variables se ponderaron para agregar los pesos específicos con la herramienta Fuzzy (figura 5).

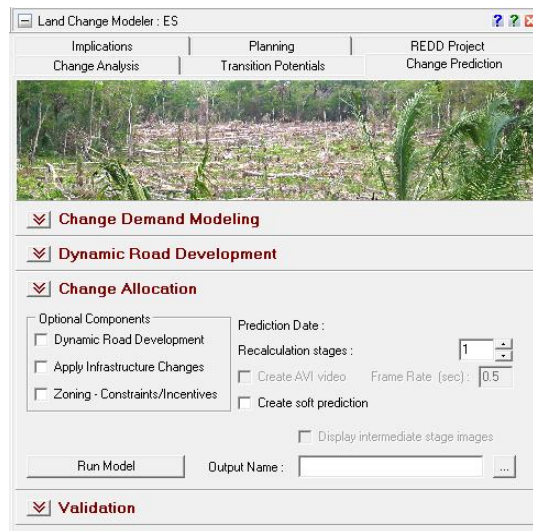
Figura 5. Herramienta de Idrisi, Transición Potencial



Fuente: Idrisi selva.

Obteniendo el mapa de transición potencial, se procedió a realizar la predicción por medio de la herramienta Change Prediction, obteniendo como producto final el mapa de predicción de crecimiento de la zona urbana al año 2030.

Figura 6. Herramienta de Idrisi, predicción de cambios



Fuente: Idrisi selva.



---

---

## Capítulo IV

### Resultados y discusiones



#### 4.1 Integración de las variables de uso de suelo y vegetación

En la integración de las variables cualitativas (uso de suelo 2011 y 2016), se verificaron las tablas de atributos correspondientes por cada una de las series, cada una fue analizada y se incluyeron las clases obtenidas por cada serie (figura 7).

Figura 7. Tabla de atributos del tipo de suelo 2011 y 2016 respectivamente.

FID	Shape *	OBJECTID	TIPO	Rowid	VALUE	COUNT	TIPO
0	Polygon	1	Bosque cultivado	0	1	89	Bosque cultivado
1	Polygon	2	Bosque de encino	1	2	2743	Bosque de encino
2	Polygon	3	Bosque de encino-pino	2	3	178	Bosque de encino-pino
3	Polygon	4	Bosque de oyamel	3	4	14510	Bosque de oyamel
4	Polygon	5	Bosque de pino	4	5	15195	Bosque de pino
5	Polygon	6	Bosque de pino-encino	5	6	121	Bosque de pino-encino
6	Polygon	7	Cuerpo de agua	6	7	1619	Cuerpo de agua
7	Polygon	8	humedad	7	8	12787	humedad
8	Polygon	9	no aplicable	8	9	530	no aplicable
9	Polygon	10	Pastizal inducido	9	10	27202	Pastizal inducido
10	Polygon	11	Pradera de alta montana	10	11	1160	Pradera de alta montana
11	Polygon	12	riego	11	12	26460	riego
12	Polygon	13	temporal	12	13	89830	temporal
13	Polygon	14	Tular	13	14	475	Tular
14	Polygon	15	Zona Urbana	14	15	8697	Zona Urbana

Fuente: Elaboración propia, recuperado de los datos vectoriales de INEGI

Para la serie V en la tabla de atributos original contenía 56 categorías de las cuales se hicieron representar en una nueva categoría sin omitir información, se realizó un *dissolve* con la herramienta *Geoprocessing* de ArcMap para dicha verificación y homogenización de la tabla de atributos de los datos vectoriales (ver mapa 7). De la misma forma se hizo el análisis correspondiente para el dato vectorial de la serie VI (ver mapa 8), ambas series quedaron con 15 categorías para que facilite el análisis de cambio de las series correspondientes.

Se analiza los datos obtenidos y se realiza una cartografía donde represente la comparación de la zona urbana del año 2011 al 2016 (ver mapa 9).

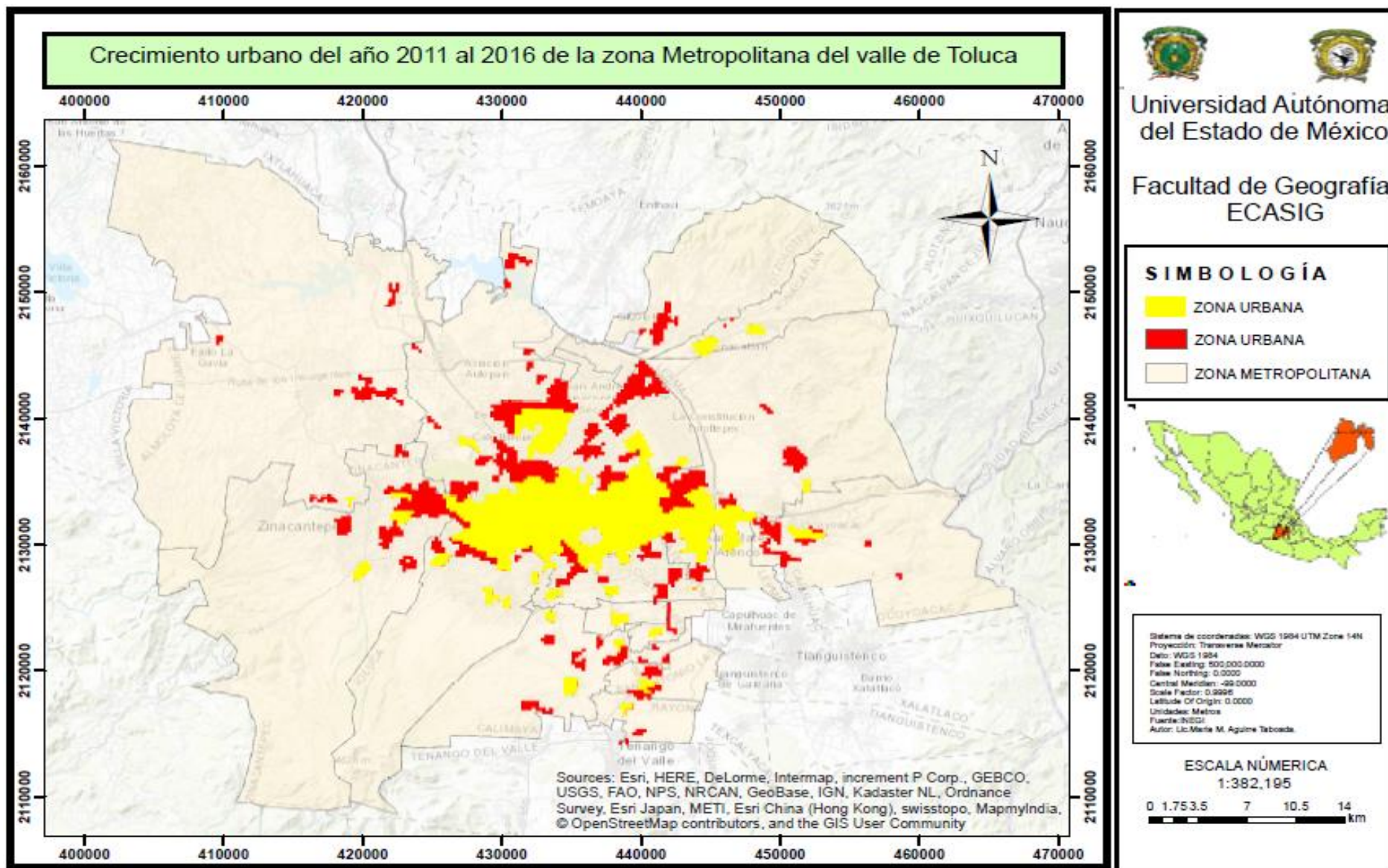








Mapa 9. Mapa del crecimiento urbano de la zona metropolitana del Valle de Toluca, del 2011 al 2016.



Fuente: Elaboración propia



## 4.2 Análisis de cambios

En la representación de hectáreas y porcentajes, las ganancias, pérdidas, cambio total, cambio neto e intercambio, se muestran los resultados obtenidos a partir de la construcción de la matriz de tabulación cruzada de cada categoría del tiempo 2011 y el tiempo 2016 que corresponde a la serie V y serie VI (tabla 3).

Tabla 3. Análisis de cambio, tabulación cruzada.

Categoría (clave)	total 2011	%	total 2016	%	perdidas	%	ganancias	%	neto	%	cambio-total	%	intercambio	%
BA	2834.38	5.62	2873.44	5.70	56.25	0.11	95.31	0.19	39.06	0.08	151.56	0.30	112.50	0.22
BC	292.19	0.58	292.19	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BP	748.44	1.49	771.88	1.53	0.00	0.00	23.44	0.05	23.44	0.05	23.44	0.05	0.00	0.00
BQ	31.25	0.06	26.56	0.05	10.94	0.02	6.25	0.01	4.69	0.01	17.19	0.03	12.50	0.02
BPQ	426.56	0.85	432.81	0.86	0.00	0.00	6.25	0.01	6.25	0.01	6.25	0.01	0.00	0.00
BQP	43.75	0.09	43.75	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DV	132.81	0.26	150.00	0.30	0.00	0.00	17.19	0.03	17.19	0.03	17.19	0.03	0.00	0.00
H2O	385.94	0.77	392.19	0.78	4.69	0.01	10.94	0.02	6.25	0.01	15.63	0.03	9.38	0.02
HA	3346.88	6.64	3251.56	6.45	95.31	0.19	0.00	0.00	95.31	0.19	95.31	0.19	0.00	0.00
PI	4156.25	8.25	3392.19	6.73	821.88	1.63	57.81	0.11	764.06	1.52	879.69	1.75	115.63	0.23
RA	7125.00	14.14	6348.44	12.60	781.25	1.55	4.69	0.01	776.56	1.54	785.94	1.56	115.63	0.23
RS	15.63	0.03	15.63	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TA	19734.38	39.16	18456.25	36.63	1504.69	2.99	226.56	0.45	1278.13	2.54	1731.25	3.44	453.13	0.90
TAP	3256.25	6.46	3035.94	6.02	232.81	0.46	12.50	0.02	220.31	0.44	245.31	0.49	25.00	0.05
VSA/BA	251.56	0.50	326.56	0.65	0.00	0.00	75.00	0.15	75.00	0.15	75.00	0.15	0.00	0.00
VSA/BA	643.75	1.28	710.94	1.41	0.00	0.00	67.19	0.13	67.19	0.13	67.19	0.13	0.00	0.00
Vsa/BP	409.38	0.81	582.81	1.16	0.00	0.00	173.44	0.34	173.44	0.34	173.44	0.34	0.00	0.00
VSA/BP	2440.63	4.84	2571.88	5.10	34.38	0.07	165.63	0.33	131.25	0.26	200.00	0.40	68.75	0.14
Vsa/BQ	248.44	0.49	371.88	0.74	0.00	0.00	123.44	0.24	123.44	0.24	123.44	0.24	0.00	0.00
VT	209.38	0.42	276.56	0.55	0.00	0.00	67.19	0.13	67.19	0.13	67.19	0.13	0.00	0.00
VW	310.94	0.62	312.50	0.62	26.56	0.05	28.13	0.06	1.56	0.00	54.69	0.11	53.13	0.11
ZU	3346.88	6.64	5754.69	11.42	0.00	0.00	2407.81	4.78	2407.81	4.78	2407.81	4.78	0.00	0.00
	<b>50390.63</b>		<b>50390.63</b>		<b>3568.75</b>		<b>3568.75</b>		<b>6278.13</b>		<b>7137.50</b>		<b>965.63</b>	

Fuente: Elaboración propia, recuperado por el método de Pontius.

En los resultados de la tabla anterior (tabla 3), se pueden observar que la tabulación cruzada destaca que, para el caso del crecimiento urbano, obtuvo pérdidas del 0%; la ganancia obtuvo un porcentaje de 4.78% con respecto al total de la zona metropolitana; el cambio neto obtuvo 4.78% lo cual representa que cualquier tipo de uso de suelo ha sido cambiado por la zona urbana (asentamientos humanos).



---

---

Considerando la agricultura de riego anual, representa una pérdida significativa del 2.99%, obteniendo una ganancia del 0.45%, un cambio total del 3.44%, el cambio neto prolongado a 2.54% y el intercambio del 0.90%, todos estos datos fueron con respecto al total de la zona metropolitana. Cabe mencionar que el intercambio fue representado significativamente por la presencia de la zona urbana.

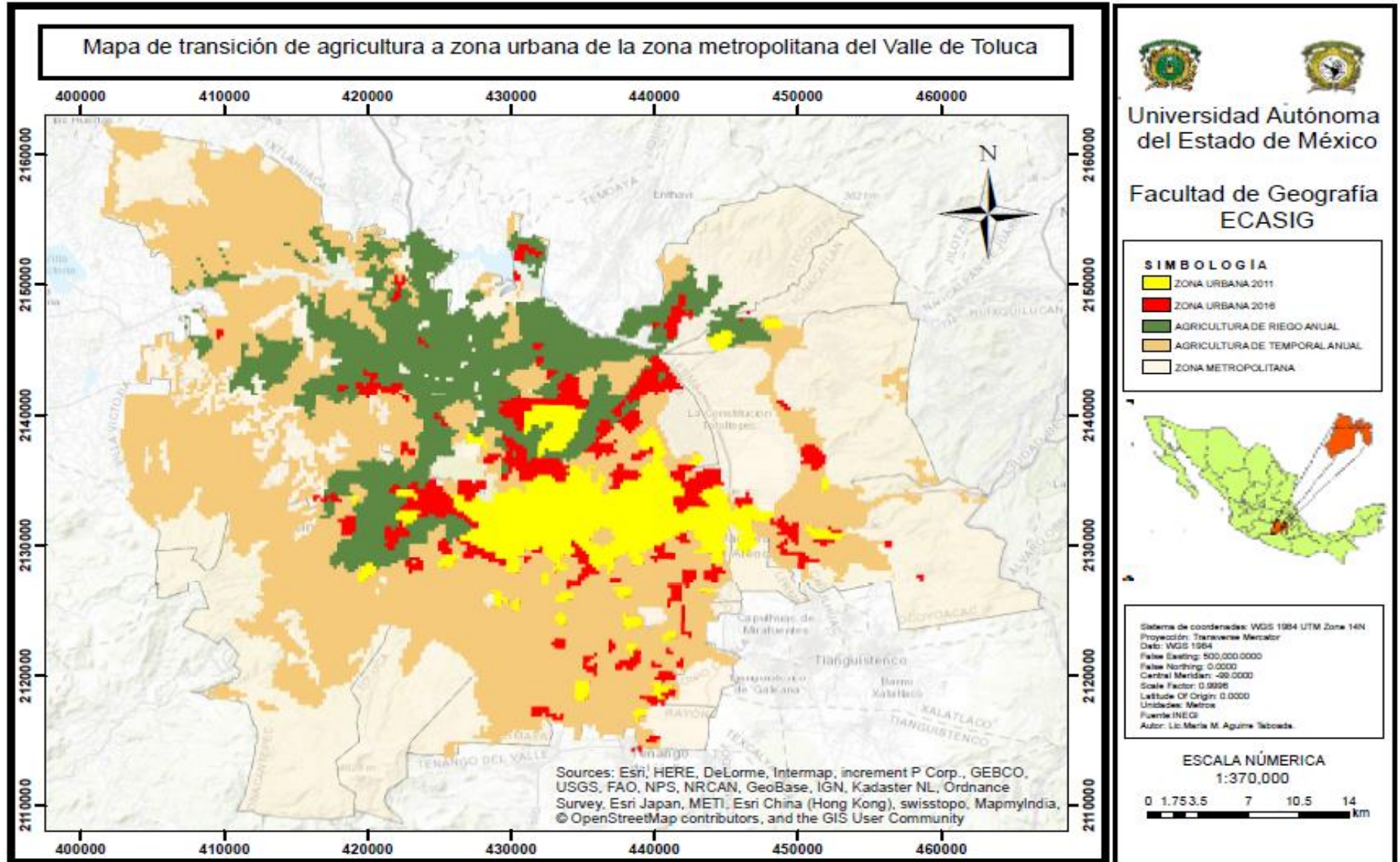
De la misma forma se considera la agricultura de riego temporal anual, la cual obtiene pérdidas considerables del 1.55%, las ganancias obtenidas fueron del 0.01%, el cambio total del 0.49%, el cambio neto del 0.41% y el intercambio de la misma forma que el anterior representa el 0.05%.

Se utilizaron estas dos coberturas por ser una de las más importantes en la zona de estudio, la cual representa un cambio significativo.

Se concluye para esta parte que los principales cambios en el uso del suelo son de agricultura de riego anual y riego temporal anual, en el que se convierten significativamente en asentamientos humanos o denominado mancha urbana, este cambio representa la realidad de la cobertura, sabiendo que en la actualidad el desarrollo de los asentamientos humanos es a causa del abandono de tierras que antes se encontraban como de uso agrícola, la venta de terrenos que no fueron de buena producción, y que ha generado algún tipo de ganancia en los propietarios nexos a negociaciones.

Se procedió en la elaboración de la cartografía con la interpretación de la transición de la agricultura de riego anual y agricultura de riego temporal, con respecto a la zona urbana (ver mapa 10).

Mapa 10. Mapa de transición de agricultura a zona urbana de la zona metropolitana del Valle de Toluca.



Fuente: Elaboración propia





### **4.3 Cartografía del modelo predictivo de la zona metropolitana del Valle de Toluca por el método de la cadena de Markov.**

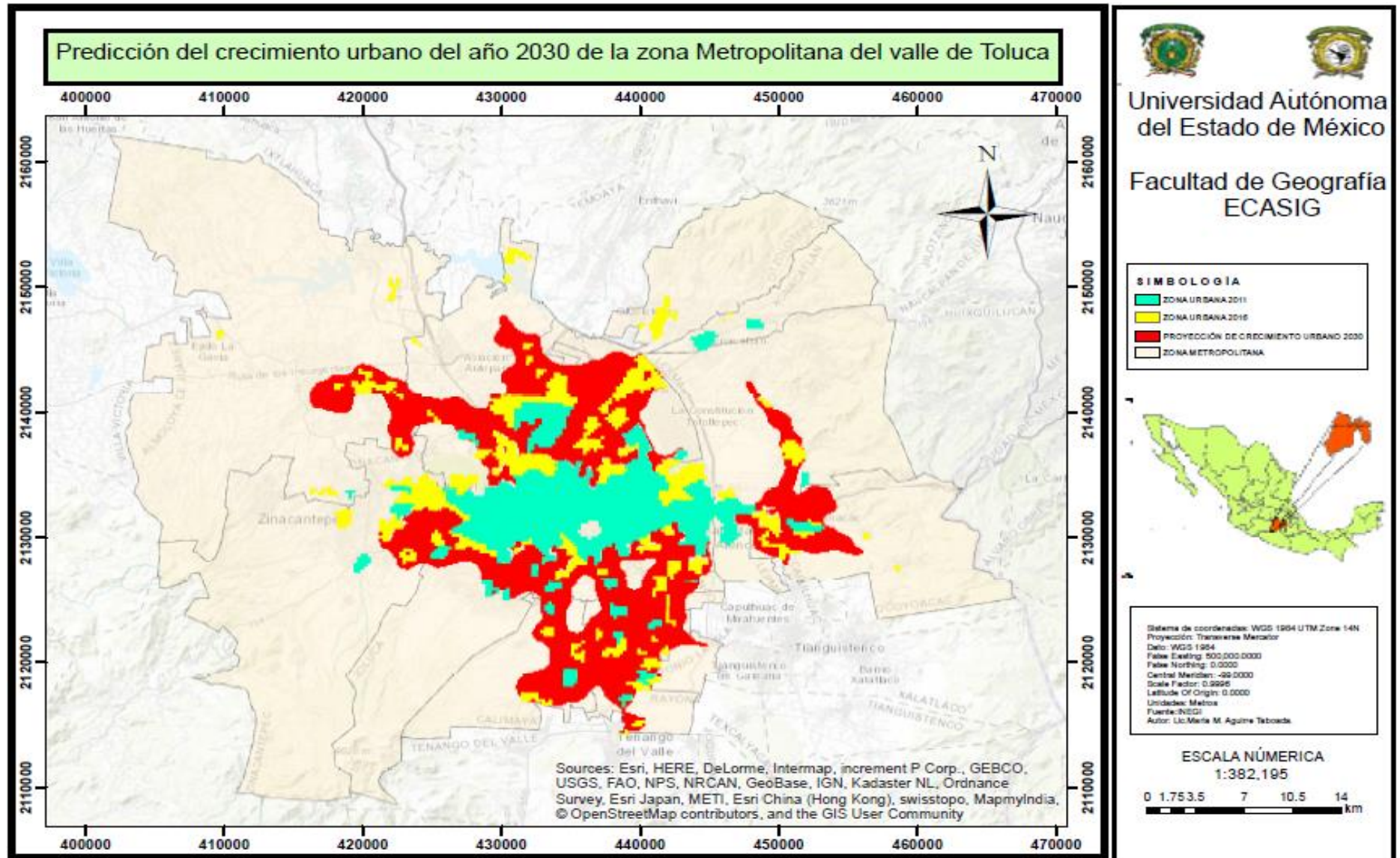
Para la cartografía de la predicción de la zona metropolitana del Valle de Toluca, con el proceso de la herramienta de Idrisi *land change* en el menú *change prediction* desplegamos la pestaña *change demand modeling*, es importante tener seleccionado el *Markov chain* y elegimos la fecha de predicción, se eligió la fecha de 2030 para poder visualizar con más claridad la orientación del crecimiento.

Continuamos el proceso llenando los datos de *change allocation* en dos etapas corremos el modelo y como resultado obtendremos el mapa de predicción al año 2030 (ver mapa 11).

En el mapa 11 se puede observar que la mancha urbana va cubriendo una superficie considerable a la agricultura de riego anual y temporal, e incluso a mayor detalle se pueden observar que va cubriendo para en esa atapa 2030 zonas de Áreas Naturales Protegidas, la cual representa un cambio considerable en el uso de suelo para esa proyección.

Se considera que el asentamiento humano se va dirigiendo hacia la parte norte y sur considerable, siendo así que el uso y tipo de suelo para esa zona es de tipo agricultura media anual, la cual representa en los resultados ser positivo de acuerdo a los procesos antes realizados.

Mapa 11. Mapa predicción del crecimiento urbano al año 2030 de la zona metropolitana del Valle de Toluca.



Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

Como conclusión tenemos que los cambios de uso de suelo y vegetación de la zona metropolitana del valle de Toluca durante el año 2011 al 2016 establecen un cambio relevante en el crecimiento urbano seguido de la agricultura. Las coberturas que pasaron de agricultura a zona urbana y vegetación a agricultura, son las principales transiciones que se ha visualizado en la zona metropolitana del valle de Toluca en cinco años.

Sin embargo, los estudios obtenidos del modelo de las cadenas de Markov muestran que los factores de proximidad son los que presentan mayor influencia en el crecimiento urbano.

Por otro lado, el análisis del planteamiento teórico expuestos en este trabajo nos da como resultado que el crecimiento urbano de la zona metropolitana del valle de Toluca muestra en las últimas décadas un fuerte crecimiento de la población motivado principalmente por las económicas urbanas lo cual no se dan cuenta del retraso que ha ocasionado la falta de una visión de ciudad a largo plazo y la poca efectividad de los instrumentos normativos aplicados.

Gran parte del crecimiento urbano se realiza en forma espontánea, no disponiendo del control y apoyo estatal ni la protección necesaria para la conservación de los recursos naturales.

La mayor parte de los habitantes de la zona metropolitana del valle de Toluca no cuenta con los servicios básicos indispensables lo que ocasiona que las condiciones de vivienda nutrición salud educación, etc. muestre índices muy bajos.

La ausencia de una infraestructura física adecuada no permite a la población aprovechar los escasos servicios existentes y dificulta seriamente su desenvolvimiento normal.



---

---

Estos problemas tienen solución en este sentido, la planificación urbana puede constituirse en un instrumento para disminuir la segregación socio espacial, generada por las variables mencionadas, mediante la inversión de impacto justamente en los municipios más reprimidos económicamente, casi todos ellos requieren desencadenar una serie de acciones convergentes que permitan el logro de los objetivos a través de varias etapas creando mecanismos que sean necesarios para que haya una orientación realizando planes de desarrollo urbano y rural, para los municipios, con el fin de ordenar y regular el crecimiento de los centros poblados y ejercer un mejor control y manejo de los recursos naturales existentes en sus áreas rurales.

También Coordinar acciones con los organismos encargados de construir y conservar la infraestructura física tendientes a desarrollar programas especiales para que la región pueda disponer lo antes posible de los servicios más urgentes, tales como caminos, comunicaciones, energía eléctrica, salud, vivienda, educación, entre otras.



---

---

## Recomendaciones

El modelo de cadenas de Markov se puede aplicar en cualquier área de estudio.

Este modelo se puede implementar detalladamente agregando variables o factores que coincidan con el crecimiento urbano y así tener un mejor análisis del crecimiento urbano de la zona metropolitana de Toluca.

Los resultados obtenidos muestran que este puede contribuir a evaluar la conveniencia de las tomas de decisiones.

Para realizar el análisis del crecimiento urbano de la zona metropolitana del Valle de Toluca se utilizaron las cartas de uso de suelo y vegetación de INEGI del año de la serie V edición 2011 y serie Vi edición 2016, por lo tanto, puede presentar errores de exactitud temática con la superficie real de la zona metropolitana del valle de Toluca, debido a la escala de trabajo, es por eso que los resultados obtenidos se acercan lo mejor posible a la realidad.



---

---

## Referencias bibliográficas

1. UNICEF. (2015). Segregación. 1 noviembre 2017, de UNICEF Sitio web: <https://www.unicef.org/es>
2. INEGI. (2015). Área Geográfica. 1 noviembre 2017, de INEGI Sitio web: <http://www.inegi.org.mx/>
3. INEGI. (2017). Área Geográfica Toluca. 1 noviembre 2017, de INEGI Sitio web: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=toluca>
4. INEGI. (2010). ZMT. 1 noviembre 2017, de INEGI Sitio web: <http://www.inegi.org.mx/>
5. Víctor Oyala. (2014). sistema de Información Geográfica. España: CreateSpace Independent Publishing Platform.
6. Montserrat Gómez Delgado, Víctor Manuel Rodríguez Espinosa. (2012). Análisis de la Dinámica Urbana. España: RA-MA.
7. Víctor Olaya. (2014). Sistemas de Información Geográfica. España: Copyright.
8. UNICEF. (2012). Children in an Urban World. 2012, de UNICEF Sitio web: <https://www.unicef.org/spanish/sowc2012/pdfs/SOWC-2012-Definiciones.pdf>
9. UNICEF. (2012). Children in an Urban World. 2012, de UNICEF Sitio web: <https://www.unicef.org/spanish/sowc2012/pdfs/SOWC-2012-Definiciones.pdf>
10. Alejandro Navarro. (2009). El Sistema de Información de la Cobertura de la Tierra de la Cobertura de la Tierra. 2019, de INEGI Sitio web: [http://www.cudi.edu.mx/primavera\\_2009/presentaciones/ecologia\\_alejandro\\_navarro.pdf](http://www.cudi.edu.mx/primavera_2009/presentaciones/ecologia_alejandro_navarro.pdf)