



Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Geografía

Aproximación a los factores explicativos del crecimiento urbano de la Zona Metropolitana de Toluca Estado de México, periodo 1980-2010, mediante Sistemas de información Geográfica y Técnicas de Regresión

Reporte final para obtener el grado de:

Especialista en Cartografía Automatizada, Teledetección y
Sistemas de Información Geográfica

18a. Promoción

Presenta:

Lic. en Geog. Cristian Hernández López

Asesor:

Dr. en Geog. Noel B. Pineda Jaimes

Toluca, México; Febrero de 2014.



Índice.

Introducción	8
Objetivo	9
Particulares	9
Capítulo 1. Marco teórico-conceptual	10
1.1 Antecedentes.....	12
1.2. Zona de estudio	16
1. 2.1. Dinámica poblacional.....	18
1.2.2. Dinámica del crecimiento urbano	19
Capítulo 2. Metodología	22
2.1. Datos de referencia.....	22
2.1.1. Análisis de la dinámica de los cambios de los tipos de uso de suelo.....	24
2.2.2 Análisis de la dinámica de los cambios.....	27
2.3. Datos de Referencia para la regresión Logística	32
2.3.1 Análisis de los factores explicativos del crecimiento urbano mediante Regresión logística.....	36
2.3. 2. Regresión logística espacial (RLE).....	37
Capítulo 3. Resultados	41
3.1 Análisis de la dinámica de los cambios	41
3.2. Regresion logistica.....	46
Conclusiones	51
Bibliografía	53

Lista de figuras.

Figura 1 Delimitación del área metropolitana.....	17
Figura 2 Mapa de la delimitación de los municipios Zona Metropolitana.....	17
Figura 3 Imágenes del Crecimiento urbano de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca 1980-1990	20
Figura 4 Imágenes del Crecimiento urbano de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca 1980-2010.....	21
Figura 5 Modulo Land-Cover Chance Modeler en IDRISI Selva.....	24
Figura 6 Comando CrossTab en IDRISI Selva.	25
Figura 7 Comando CrossTab-croos tabulation en IDRISI Selva.....	26
Figura 8 Obtención de los cambios mediante sobreposición temática. Las categorías están dadas por A, B y C para ambos tiempos	31
Figura 9 Ocupación del suelo en 1980 (a) y 2010 (b).....	32
Figura 10 Obtención de los cambios mediante sobreposición temática. Las categorías para 1980-2010 ambos tiempos.	32
Figura 11 Obtención de los cambios mediante sobreposición temática. Las categorías para 1980-2010 ambos tiempos.	34
Figura 12 Modulo LOGISTICREG de Idrisi	36
Figura 13 Coberturas de uso de suelo del año de 1980.....	45
Figura 14 Coberturas de uso de suelo del año de 2010.....	46
Figura 15 Mapa de predicción con variables independientes.....	50

Lista de graficas

Gráfica 1 Dinámica Poblacional 1980-2010.....	21
Gráfica 2 Cambio neto en hectáreas entre 1980-2010 a nivel de tipo de vegetación.....	42
Gráfica 3 Contribuciones en hectáreas entre 1980-2010 a nivel de tipo de agricultura.....	43
Gráfica 4 Contribuciones en hectáreas entre 1980-2010 a nivel de tipo de bosque.....	43
Gráfica 5 Contribuciones en hectáreas entre 1980-2010 a nivel de tipo de Urbano.....	44

Lista de tablas

Tabla 1 Municipios que integran la Zona Metropolitana de Toluca.	16
Tabla 2 Volumen poblacional 1980-2010	18
Tabla 3 Tasas de Crecimiento Poblacional 1980-2010	19
Tabla 4 Muestra los principales tipos de vegetación y uso del suelo de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca 1980-2010	27
Tabla 5 Tabulación cruzada para dos tiempos con pérdidas y ganancias	29
Tabla 6 Descripción de las variables independientes utilizadas en el modelo de regresión logística	33
Tabla 7 Resumen de los cambios de ocupación del suelo (hectáreas y porcentaje (%))	42
Tabla 8 Resultados de la regresión Logística	47

Introducción.

Frente a las nuevas formas de crecimiento de la ciudad y los conceptos urbanos que se desarrollan, es necesario aproximarnos a los factores que expliquen el crecimiento urbano de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, Estado de México en el periodo de 1980-2010.

En este sentido, el trabajo propone una metodología integral para la descripción, y análisis de los procesos que se dan en el crecimiento urbano en la zona metropolitana de Toluca del Estado de México. Para conseguirlo, se utilizan y aplican diversas técnicas de análisis y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El trabajo tiene dos objetivos particulares que conducen, de forma complementaria y secuencial, las fases metodológicas en las que está estructurada. En primer lugar se determina el cambio de ocupación y uso del suelo ocurrido entre 1980 y 2010 en particular del suelo urbano.

Para la medición del cambio de uso de suelo la expansión urbana es uno de los hechos que ha influido de manera decisiva en los cambios de usos de suelo registrados en las últimas décadas de todo el mundo. La descripción detallada de este proceso es un paso esencial para su entendimiento, su explicación y su control mediante alguna forma de ordenación del territorio.

En segundo lugar se investigan cuales son los factores relacionados con los cambios utilizando un modelo de regresión logística que permite analizar los factores que inciden en el crecimiento urbano. Se obtuvieron 12 variables independientes y como la variable dependiente el crecimiento urbano dado entre 1980 y 2010.

Objetivo

- ❖ Construir un modelo explicativo que permita aproximarnos a conocer los factores que más influyen en el crecimiento urbano de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca del Estado de México periodo 1980-2010

Particulares

- ❖ Realizar una descripción de los cambios de uso y cubierta del suelo, en particular del suelo urbano.
- ❖ Realizar un análisis regresión logística que permita conocer los factores que inciden en el crecimiento urbano.

Capítulo 1. Marco teórico-conceptual

El crecimiento urbano, también conocido como urbanización, se aceleró con la llegada de la industrialización hace más de 200 años. Mudándose un gran número de personas a las ciudades en busca de trabajo. Sin embargo, el crecimiento más rápido se ha producido durante los últimos 50 años. Dándose la mayor parte de urbanización en Asia, África y Latinoamérica.

Dado que la urbanización es una tendencia global, que seguirá persistiendo en las próximas décadas; en la medida que va aumentando la población. Es necesario desarrollar nuevos modelos urbanos que ayuden a las ciudades a adaptarse al futuro.

Si bien las zonas urbanas ocupan hoy día tan sólo el 2 por ciento de la superficie de la tierra, sus efectos en la alteración del medio son importantísimos a escala local, regional y global (EEA, 2006; OSE, 2006; en Plata, 2010).

Se considera que el crecimiento urbano es 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 debidas, 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.

Poniendo en evidencia, en los últimos años los notables cambios de uso y ocupación del suelo que ha sufrido, en general, todo el planeta, que son el resultado de un complejo proceso entre el medio humano y natural. Tratándose de un fenómeno muy importante, ya que dichos cambios han sido considerados como uno de los componentes más importantes del cambio global. Sin duda uno de los más significativos ha sido el aumento desmesurado de las superficies artificiales (Plata, 2010).

Esta importante dinámica urbana se ha venido desarrollando en diferentes regiones del mundo, como un modelo de crecimiento urbano difuso, denominado Urban Sprawl. Este

fenómeno se caracteriza por la propagación de la ciudad y sus barrios hacia las periferias (OSE, 2006; en Plata, 2010).

Por su parte Plata (2010) menciona “una alternativa puede ser optar por la nueva generación de modelos espaciales, tales como: la modelación de diferentes escenarios y la simulación de imágenes alternativas de futuro. Dichos modelos ofrecen la posibilidad de integrar un conjunto de factores, no solo económicos, sino también ambientales, sociales y otros, abarcando así los aspectos más representativos de las dinámicas territoriales”.

De esta manera, sería posible abarcar diferentes alternativas de desarrollo urbano futuro que involucren los intereses de los diversos agentes y partes implicados en los procesos de planificación del territorio, por mencionar algunos: ambientalistas, economistas, agentes inmobiliarios, políticos, investigadores, agentes sociales, entre otros (Plata, 2010).

Así mismo, Plata (2010) explica que la simulación de dichas imágenes alternativas podría utilizarse como una herramienta para visualizar y evaluar los efectos que puede ocasionar la utilización de unos u otros criterios en la planificación urbana. Además esto coadyuvaría a la implementación de herramientas novedosas en los procesos de toma de decisión espacial, los cuales se presentan como los grandes ausentes en gran parte de los procesos de planificación en el ámbito español.

Para esto es importante considerar los SIG “Sistemas de Información Geografica” ya como lo menciona Buzai (2008) “son instrumentos que permiten un análisis geográfico integral que junto con la estadística nos permitirán entender, desarrollar e interpretar los modelos y poder representar los factores, cuya potencialidad está fundada en su capacidad para superponer capas de información de diferentes disciplinas) estos sistemas incluyen funciones para el manejo de datos espaciales, como almacenamiento, visualización, consultas, análisis de datos y modelización; y se apoyan en diferentes software, a fin de lograr la integración más eficaz para el tratamiento automatizado de los datos geográficos” (Buzai, 1999 en Gómez et al 2012)

En el caso de los SIG raster al gestionar la información en este formato específico, constituido por celdas de igual tamaño, posibilitan el empleo de la retícula cuadrada como

unidad de almacenamiento de la información, lo que permite la disponibilidad de un gran número de unidades espaciales de pequeño tamaño, a modo de puntos de información. Además, seleccionando un nivel de resolución adecuado, un pixel de tamaño reducido posibilita una gran flexibilidad en la medición de las propiedades de espacio urbano, al proporcionar la posibilidad de construir la singularidad de dicho espacio, respecto a la realidad, con mayor margen de maniobra y fiabilidad (Gómez et al 2012).

1.1 Antecedentes

Existen varios estudios o trabajos que tratan de explicar la dinámica de uso y ocupación del suelo, así como también los factores que inciden en los procesos del crecimiento urbano dentro de los cuales encontramos los siguientes:

En el estudio de Plata (2010) dice que el análisis de la sostenibilidad conduce a considerar multitud de temas y problemas, pero uno de los más estudiados es, el concerniente a la variación de las actividades desarrolladas en cada punto del territorio a lo largo del tiempo, es decir, al cambio en los usos y ocupación del suelo. Y el aumento desmesurado de las superficies artificiales.

De esta manera Pineda et al., 2009 realiza un “Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México, mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes”, realizando una aproximación a los procesos de deforestación en la que describir los cambios en la cobertura y uso de suelo sucedidos principalmente del uso forestal en el Estado de México en el periodo de 1993-2002.

Calcularon los cambios, intercambios y transiciones sistémicas que afectaron la pérdida de la cobertura forestal empleando métodos de regresión multivariantes que permitieron explicar las posibles causas que provocan el proceso de deforestación regional dentro del Estado de México.

Haciendo una descripción detallada en la categoría de bosque mostrando los cambios, y los valores de intercambio. Así como las transiciones sistemáticas entre categorías que revelaron una dinámica de perturbación–recuperación forestal.

Mientras Mas, J.F et al ., 2002 realizó el Monitoreo de los cambios de cobertura en México, presentando procesos de cambio de uso del suelo, vegetación, cambio climático y la biodiversidad entre otros. Teniendo como objetivo generar una base de datos geográfica multifecha sobre uso del suelo y vegetación que permitiera cuantificar y caracterizar espacialmente estos cambios. Y finalmente generar mapas y matrices de cambios, en el que se calcularon tasas de cambios y se elaboraron diferentes escenarios futuros tomando como el caso de Pineda (2009) la cobertura forestal de las últimas décadas.

En otro artículo Pineda et al 2011, realiza un análisis de los factores inductores de los cambios ocurridos en la superficie forestal del Estado de México en el período 1993-2000 en el cual pretende conocer y relacionar las causas que han inducido en la pérdida de la superficie forestal en el estado de México. Para realizar el análisis emplea la regresión lineal múltiple, utilizando variables independientes con información a nivel municipal, así como la regresión logística, para analizar a nivel de píxel la influencia que tienen algunos factores sobre la pérdida de la masa forestal.

Así, en otro estudio de Mas, J.F et al ., 2002 hace una evaluación de los factores del aislamiento, la topografía, los suelos y el estatus de protección sobre las tasas de deforestación en México, en el que se evalúa el efecto de variables como aislamiento (distancias a carreteras y de las poblaciones), la topografía (altitud y pendiente), los suelos y el estatus de protección dentro y fuera de una ANP sobre las tasa de deforestación para determinar cuáles de estas variables constituyen más para la conservación de los ecosistemas naturales.

En Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México realizado por Mas, J.F et al ., 2002 sobre el cambio en la cobertura y uso del suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada.

Por otro lado, Humacata, Luis (2010) realiza una aplicación de investigación exploratoria, en la que hace una primera aproximación que verifique el comportamiento de variables individuales y de conjunto. A partir de la incorporación de la dimensión espacial a través de la interacción entre bases de datos alfanuméricas, gráficas y cartografía digital llegando a definirse el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA), donde las técnicas interactivas adquieren la mayor importancia en el análisis estructural de los datos socio-espaciales.

Referido a la Provincia de Buenos Aires, con el objetivo general de regionalizar el área de estudio, mediante la aplicación de técnicas de estadística espacial, subdividir el espacio geográfico en base a la combinación en los valores medidos en las variables consideradas.

De este modo, para llegar a una regionalización como modelo territorial, que ponga en evidencia las heterogeneidades espaciales, con fines de planificación, seleccionado como unidades espaciales de los partidos que componen la provincia para el año 2001. Donde se consideran a estas unidades espaciales como un mosaico espacial con límites bien definidos y las mediciones de características sociales, demográficas, económicas, habitacionales, etc., realizadas en cada unidad espacial, consideran implícitamente que los datos obtenidos se distribuyen en forma homogénea en su interior (Humacata, Luis, 2010).

Cabe mencionar que, además Chasco Yrigoyen, Coro, realizó un Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) el cual constituye un campo novedoso e interesante para el análisis económico y de las ciencias sociales. En el que AEDE podría definirse como “el grupo de herramientas estadístico-gráficas que describen y visualizan las distribuciones espaciales, identificando localizaciones atípicas, descubriendo formas de asociación (autocorrelación espacial) que, a su vez, pueden ser de carácter global o local, y sugiriendo estructuras en el espacio geográfico (heterogeneidad espacial)”.

El AEDE puede ser aplicado desde una perspectiva univariante, sobre uno o varios indicadores geográficos, o multivariante, como una etapa propia del proceso econométrico espacial, previo tanto al análisis (estimación y contrastes) como todo ejercicio de predicción espacial.

Finalmente, los diversos estudios mencionados para el caso de México muestran que los métodos utilizados en general son similares; cuanto a los parámetros y variables que se incluyen; incomparables en términos de las categorías que utilizan y con escalas de trabajo.

Por otro lado, llama la atención que la explicación de los cambios, se cuantifiquen los cambios netos o totales ocurridos sin poner mucho énfasis en las transiciones que se dan entre. De igual forma la mayoría trabajos revisados hace uso de técnicas estadísticas para tratar de conocer las causas de los cambios ocurridos (Plata 2010, Pineda et al., 2009:2011, Mas, J.F et al ., 2002, Humacata, Luis; 2010, Chasco Yrigoyen, Coro). De acuerdo con lo anterior, se puede decir que aun son escasas las investigaciones en el país que tratan de explicar los factores que inciden en el crecimiento urbano, variables socioeconómicas y ambientales.

1.2. Zona de estudio

La ciudad de Toluca inicia su configuración como Zona Metropolitana en los años 60, derivado de la industrialización del corredor Toluca-Lerma y que a su vez significó cambios importantes de actividades productivas y sociales en estructura socioeconómica del Valle de Toluca, motivando la integración de municipios al conjunto metropolitano criterio de SEDESOL-CONAPO-INEGI.

La zona metropolitana del Valle de Toluca se encuentra distribuida en los siguientes municipios de la *tabla 1*. Dentro del Estado de México el cual se localiza en la porción central de la República Mexicana (*ver figura 1 y 2*).

Cuenta con una superficie territorial de los 14 municipios que la integran con 2038 km² y una altitud 2660 msnm.

Tabla 1 Municipios que integran la Zona Metropolitana de Toluca.

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	Toluca
13	Xonacatlán
14	Zinacantepec

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1 Delimitación del área metropolitana.



Fuente: Elaboración propia con base cartográfica de límite estatal y municipal de INEGI.

Figura 2 Mapa de la delimitación de los municipios Zona Metropolitana.



Fuente: Elaboración propia con base cartográfica de límite estatal y municipal de INEGI.

1. 2.1. Dinámica poblacional

En 60 años, el volumen de población de los municipios que actualmente componen la ZMVT se sextuplicó al pasar de 356 mil 754 habitantes en 1950 a un estimado de 2 millones 172 mil 35 habitantes en 2010. A pesar de que la ZMVT es la que concentra la mayor proporción de población y que en los últimos 10 años ha aumentado un millón 423 mil 207 habitantes, la ZMVT ha representado el mayor dinamismo demográfico en las últimas décadas y aumentado 439 mil 51 habitantes en los últimos 10 años. Esto es, casi lo doble de la proporción del aumento de la población en el Distrito Federal en el periodo de referencia (GEM, 2012) (*ver tabla 2*)

Tabla 2 Volumen poblacional 1980-2010.

Entidad/Zonas	1980	2010
Estado de México	7 564 335	15 175 301
ZMVC	938 841	2 172 035

Fuente. Tabla del Gobierno de Estado de México, 2012 de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

En la Zona Metropolitana del Valle de Toluca 2012, el volumen poblacional de la ZMV reporta mayor peso relativo al pasar de 12.4% a 14.3% en los años 1980 y 2010, respectivamente, lo que significa, a su vez, un aumento de 2.3 veces la población total en este mismo periodo de 30 años; mientras que el propio estado ha aumentado 2 veces su población.

Por otro lado, el ritmo de crecimiento de la población del estado ha sido heterogéneo, agrupando estos comportamientos en tres grandes regiones, de las cuales la ZMVT ha sido superior, desde 1980, el ritmo de la ZMVT, incluso mayor al ritmo de crecimiento del propio Estado de México (*ver tabla 3*).

Las áreas urbanas son las que siguen concentrando la mayor parte del crecimiento poblacional en la entidad, lo que explica la creciente expansión de las zonas metropolitanas. Este incremento se ha dado por ambos, el crecimiento natural y el social.

Tabla 3 Tasas de Crecimiento Poblacional 1980-2010.

Entidad/Zonas	1980-1990	200-2010
Estado de México	2.7	1.4
ZMVC	3.0	0.3

Fuente. Tabla del Gobierno de Estado de México, 2012 de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

1.2.2. Dinámica del crecimiento urbano

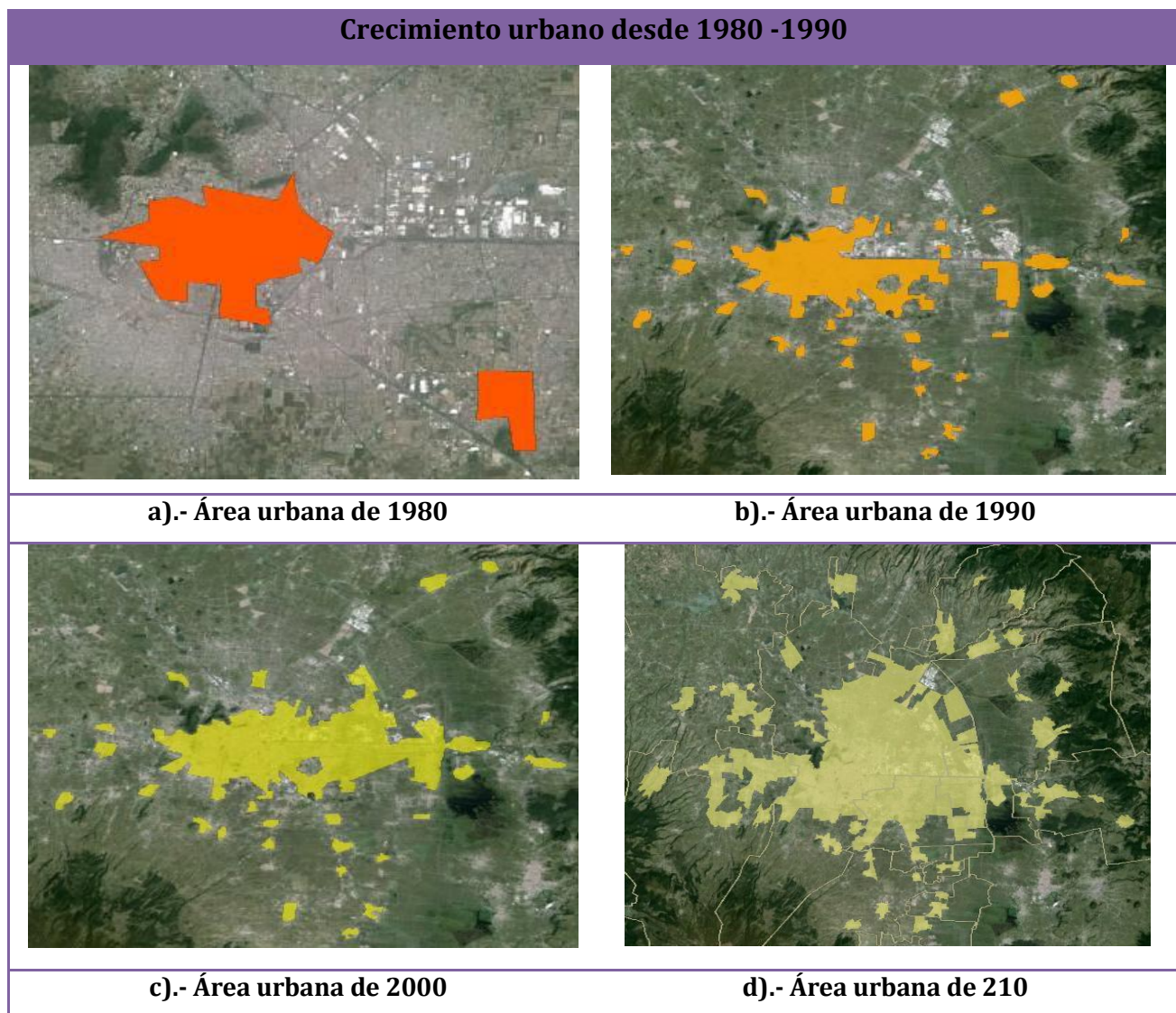
La dinámica del crecimiento urbano se debe a los cambios que han ocurrido dentro de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca ha sido en parte a las actividades económicas presentando una transformación las cuales pasó de ser una economía rural a una industrial y de servicios, con importantes parques industriales, en las últimas décadas.

Encontramos que desde 1980 la población se concentraba la mayor parte en el centro de lo que hoy es Toluca y Metepec, que se muestran en la *figura 3 (a)* en tono rojo con una superficie en Toluca de 7277902 km y en Metepec de 1484650.25 km.

Mientras para el año 1990 en un periodo de 10 años se ve como incremento la zona urbana hasta un 70 % de la superficie de la zona metropolitana del Valle de Toluca concentrándose en Toluca y sus alrededores, así como también en los municipios de Metepec, San Mateo Atenco, Almoloya de Juárez, Xonacatlán, Lerma, Toluca, Chapultepec, Calimaya, San Antonio la Isla, Zinacantepec, Rayón, Mexicaltzingo, Ocoyoacac aunque hay una concentración de crecimiento urbano en algunos municipios (*ver figura 3 (b)*).

Mientras para que para el año de 1980 en comparación al 2000 se ve un crecimiento de un 80 % dando hacia las periferias del centro *figura 3 (c)* y para el 2010 se ve un 95% de crecimiento hacia el norte y sur *figura 3 (d)*.

Figura 3 Imágenes del Crecimiento urbano de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca 1980-1990.



Fuente: Elaboración propia con base cartográfica de INEGI y Google Earth.

La figura 4 muestra en tonalidad naranja fuerte el crecimiento urbano de 1980, en tonalidad naranja medio es el crecimiento del año de 1990, mientras tanto el tono amarillo es el año 2000 y finalmente el tono verde claro es el año 2010.

La Población para el año 1980 era de 938,841 habitantes que se encuentra en tonalidad naranja, para 1990 aumento 1, 249,274 habitantes en tonalidad naranja más claro, mientras que para el año 2000 aumento a 1, 732, 984 habitantes aumentado 439 mil 51,

Y en los últimos 10 años para el 2010 ha aumentado a 2 172,035 habitantes, que ha aumentado un millón 423 mil 207 habitantes, ha representado el mayor dinamismo demográfico en las últimas década ver figura 4 y grafica 1.

Gráfica 1 Dinámica Poblacional 1980-2010

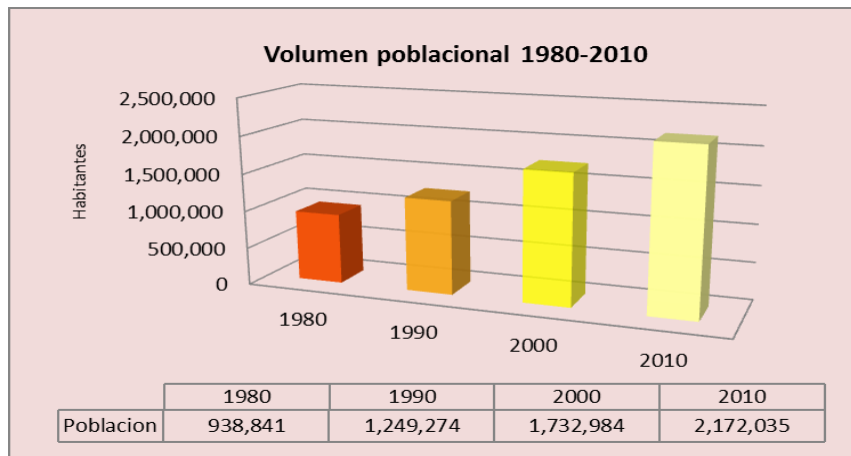
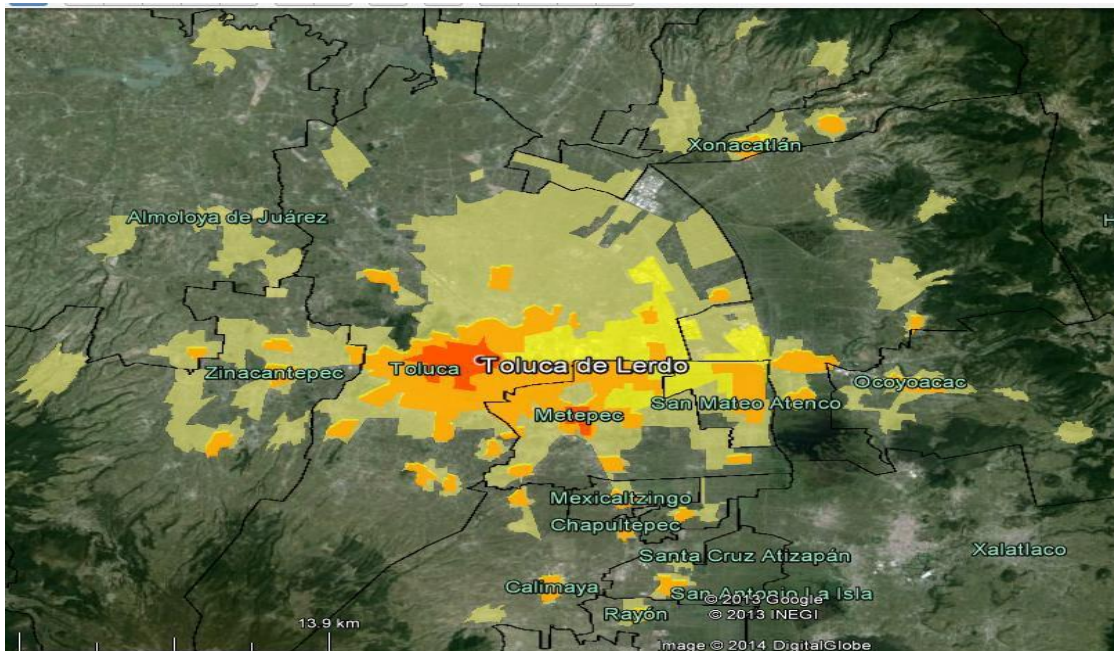


Figura 4 Imágenes del Crecimiento urbano de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca 1980-2010.

Crecimiento urbano desde 1980-2010



Crecimiento del Área urbana de 1980-2010

Fuente: Elaboración propia con base cartográfica de INEGI y Google Earth.

Capítulo 2. Metodología

Tradicionalmente la localización y cuantificación de los cambios de uso y ocupación del suelo se realizan a través de una sobreposición cartográfica y una tabulación cruzada, generando de esta manera mapas y tablas de cambio que permiten identificar la magnitud y distribución espacial de la dinámica del cambio (Velázquez et al., 2002a; Reyes et al., 2006 y Dupuy et al., 2007 en Pineda, 2010).

En la presente metodología se calculan las pérdidas, ganancias, cambios netos, intercambios y transiciones sistemáticas entre categorías aplicando los métodos desarrollados por Pontius et al., (2004; en Pineda, 2010).

Se describe la dinámica del cambio de ocupación del suelo en la Zona metropolitana del valle de Toluca en diferentes niveles de detalle a través de un diseño analítico que va de un nivel general a uno particular.

Una primera aproximación de los cambios se realizó a nivel de entidad con 7 categorías. En el primero se calcularon y analizaron las pérdidas, ganancias, cambio total, cambio neto, intercambios y los índices de persistencia, se hace mayor énfasis en los procesos de crecimiento urbano.

2.1. Datos de referencia

Para realizar estudios de evaluación y análisis de los cambios del uso y ocupación del suelo, normalmente se emplean datos obtenidos de imágenes de satélite multitemporales o bien se puede realizar mediante una comparación de mapas temáticos de diferentes fechas (Mas et al., 2004).

En México, existen 4 bases de datos sobre uso del suelo y vegetación a nivel nacional y a una escala semi-detallada (1:250,000) elaborado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

Se tomaron en este trabajo la base cartográfica original del estudio comprende un mapa digital vectorial de vegetación y uso del suelo de 1980, denominado **serie I**, La cartografía “serie I” de uso del suelo y vegetación elaborada con base en la fotointerpretación de fotografías aéreas y trabajo de campo.

El sistema de clasificación se basa en criterios estructurales, florísticos, fenológicos y de conservación de la vegetación o en el tipo de uso y comprende cerca de 300 categorías (INEGI, 1980).

El formato original de estos datos es analógico (121 mapas) y existen 2 versiones digitales a nivel nacional, una elaborada por el Instituto Nacional de Ecología (INE) y otra digitalizada por el Instituto de Geografía, UNAM. Las fotografías aéreas utilizadas como insumo fueron tomadas entre 1968 y 1986, con una fecha promedio de 1976, que se tomó como fecha de la base de datos.

La cartografía de la **Serie IV** (obtenida en el periodo 2007-2010) y representa una importante fuente de información que apoya los estudios temporales de las comunidades vegetales y en la generación de información estadística, así como el monitoreo de la cubierta vegetal de México y los principales usos del suelo.

También la serie IV de Uso del Suelo y Vegetación consta de 148 conjuntos de datos digitales y un continuo nacional en formato Shape y con Datum de referencia ITRF92 INEGI,(2012).

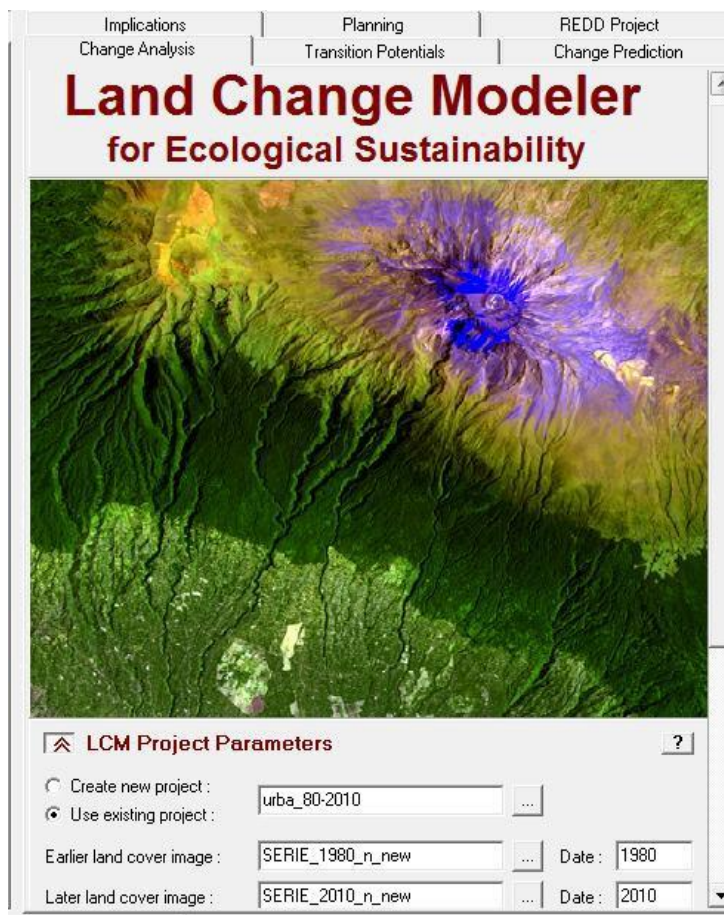
La información de cada uno de los Conjuntos de Datos de la Serie IV de Uso del Suelo y Vegetación, se obtuvo a partir de la interpretación manual por medios digitales de imágenes SPOT del año 2007 multiespectrales y ortorrectificadas, y respaldada con verificación de campo y presenta la distribución de los diferentes tipos de vegetación natural e inducida de nuestro país; también se muestra la ubicación de las áreas agrícolas y se organiza a partir de un sistema jerárquico que podrá formar parte de un Sistema de Información Geográfica INEGI,(2012).

Para el objetivo de este estudio, los mapas vectoriales de cobertura y uso del suelo de los dos tiempos se transformaron a formato raster, utilizando una rejilla de 1697 columnas por 1696 renglones y una resolución del píxel de 50 por 50 m.

2.1.1. Análisis de la dinámica de los cambios de los tipos de uso de suelo.

Una vez convertidos los datos a este formato se utilizó el módulo **Land Change Modeler** mostrado en la figura 5(LCM) del software IDRISI Selva. Con el LCM se puede evaluar y cuantificar los cambios de ocupación del suelo. Este método utilizado nos muestra de que manera las influencias sociales y biofísicas afectan al suelo y qué consecuencias tiene este fenómeno. Este programa estudia la evolución en el suelo/ ocupación del suelo a su nivel global.

Figura 5 Modulo Land-Cover Chance Modeler en IDRISI Selva.



Fuente. Imagen del modulo Land-Cover Chance Modeler para el proceso de la información.

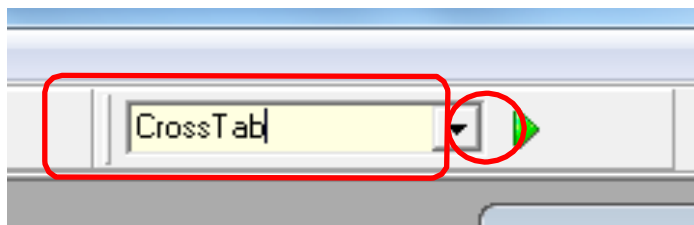
Así como las ganancias, pérdidas, cambios netos y contribuciones que aportan cada una de las categorías de ocupación del suelo en cuestión. También se obtienen fácilmente mapas de persistencia, transiciones e intercambios entre categorías (Pineda, 2010).

Hay que resaltar que esta limitante depende exclusivamente del número de intercambios entre categorías, es decir, no siempre las categorías del tiempo 1 presentan intercambios con todas las categorías del tiempo 2.

Sin embargo el LCM solamente puede procesar no más de 256 combinaciones, es decir cada mapa no debe tener más de 16 categorías por cada tiempo. Para solucionar este problema, la cartografía a nivel de tipo de vegetación se realizó de forma externa, utilizando el comando Crosstab y realizando las reclasificaciones correspondientes.

Es decir, las transiciones entre categorías fueron calculadas de acuerdo a una tabulación cruzada por medio de un Cronstab como se menciona, con un comando de Idrisi denominado CROSSTAB en la figura 6.

Figura 6 Comando CrossTab en IDRISI Selva.



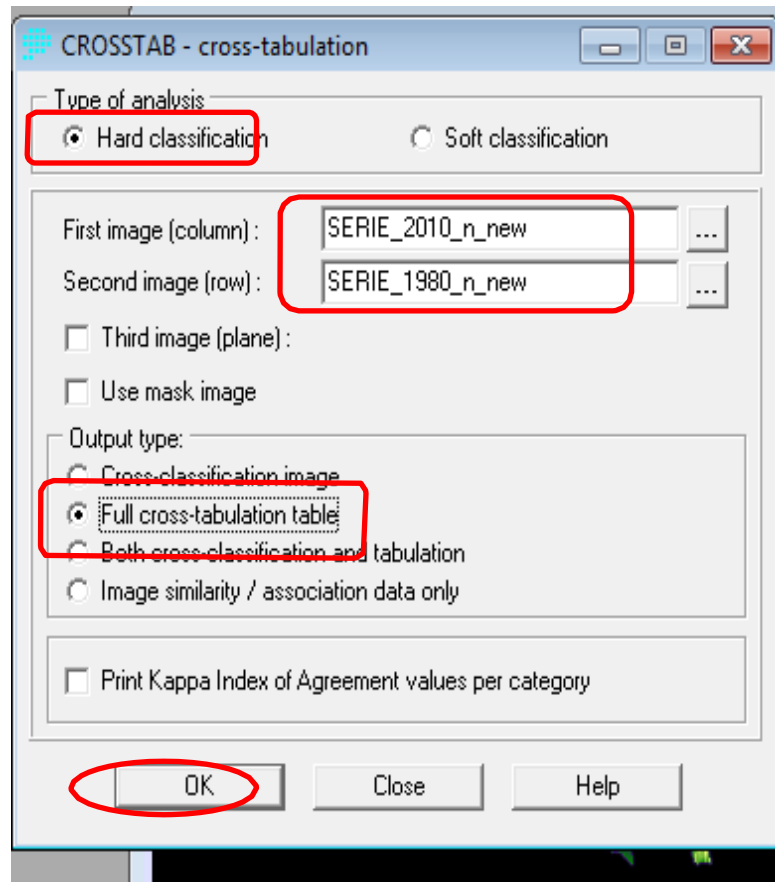
Fuente. Imagen del comando CrossTab en IDRISI Selva para generar la tabla.

Este comando nos permite la generación de la Matriz de Tabulación Cruzada (CrossTab). Haciendo el proceso únicamente con las dos capas (SERIE_1980_new y SERIE_2010_new). Seleccionar Open Dialog.

En este módulo, seleccionar en Tipo de Análisis Hard Classification, y posteriormente primero se introduce el último periodo (SERIE_2010_new) y después el primero

(SERIE_1980_new), en las opciones de salida seleccionar Full cross-tabulation table y finalizamos con OK como se ve en la figura 7.

Figura 7 Comando CrossTab-croos tabulation en IDRISI Selva.



Fuente. Imagen del comando CrossTab en IDRISI Selva para generar la tabla.

Y para poder realizar los procesos se salvo el archivo en formato texto (txt).

Los mapas de 1980 y 2010 se cruzaron para generar 1 mapas de cambio para los periodos 1980-2010 de los cuales se derivaron los mapas, la matriz y las tasas de cambio. En la tabla 4 que a continuación se presentan los principales tipos de vegetación y uso del suelo que se utilizaron:

Tabla 4 Muestra los principales tipos de vegetación y uso del suelo de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca 1980-2010.

Agricultura
Bosque
Pastizal
Cuerpo de Agua
Otros tipos de Vegetación
Urbano
Área de Vegetación

Fuente. Tabla con las categorías utilizadas elaboración propia.

Tomando en cuenta los resultados de la Tabla 4 y figura 6 obtenidos del análisis de la matriz de cambios, en el periodo de 1980-2010 de la Zona metropolitana del valle de Toluca en el Estado de México.

En este nivel se analizaron las 6 categorías de ocupación del suelo de 1980-2010. El cruce entre estos dos mapas permitió conocer y obtener a mayor detalle las ganancias, pérdidas, cambio total, cambio neto y los intercambios de cada una de estas categorías.

2.2.2 Análisis de la dinámica de los cambios

Para la medición del cambio de uso de suelo la expansión urbana es uno de los hechos que ha influido de manera decisiva en los cambios de usos de suelo registrados en las últimas décadas de todo el mundo. La descripción detallada de este proceso es un paso esencial para su entendimiento, su explicación y su control mediante alguna forma de ordenación del territorio (Plata et al., 2008).

Para obtener las pérdidas y ganancias de cada categoría se debe construir una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambios con el mapa del tiempo 1 (t1) y mapa del tiempo 2 (t2). En la Tabla 3 las filas contienen la superficie de las categorías en t1, mientras que las columnas muestran la superficie en t2.

Para la medición del cambio de uso de suelo la expansión urbana es uno de los hechos que ha influido de manera decisiva en los cambios de usos de suelo registrados en las últimas décadas de todo el mundo.

La descripción detallada de este proceso es un paso esencial para su entendimiento, su explicación y su control mediante alguna forma de ordenación del territorio (Plata et al., 2008).

Para obtener las pérdidas y ganancias de cada categoría se debe construir una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambios con el mapa del tiempo 1 (t1) y mapa del tiempo 2 (t2). En la Tabla 5 las filas contienen la superficie de las categorías en t1, mientras que las columnas muestran la superficie en t2.

En general, el estudio de la dinámica de cambio de los usos de suelo se basa en el análisis de cruce de categorías de dos imágenes temporales diferentes.

Pero que tengan idénticas categorías, y poder obtener una matriz de transición que reúna en las filas a las categorías de la primera fecha y en las columnas las de la segunda fecha, indicando el contenido de cada celda la superficie de los cambios o de la estabilidad detectada (Gómez et al 2012).

Las casillas fuera de la diagonal principal muestran la estabilidad de las situaciones entre dos fechas, es decir, el no cambio. Las casillas fuera de la diagonal muestran el cambio espacial ocurrido entre dos estados, justamente el aspecto que se desea medir. Todos estos datos permiten estimar la persistencia, el cambio neto, las pérdidas, las ganancias, el intercambio en cada categoría el cambio total (Gómez et al 2012).

Lo cual permite obtener para cada categoría de uso del suelo las ganancias y las pérdidas, el cambio neto y los intercambios experimentados entre dos momentos temporales mediante una tabulación cruzada mostrada en la tabla 5.

Tabla 5 Tabulación cruzada para dos tiempos con pérdidas y ganancias

	Tiempo 2				Total tiempo 1	Pérdidas
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4		
Tiempo 1						
Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	$P_1 +$	$P_1 + - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	$P_2 +$	$P_2 + - P_{22}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	$P_3 +$	$P_3 + - P_{33}$
Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	$P_4 +$	$P_4 + - P_{44}$
Total tiempo 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganancias	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Fuente. . (Gómez et al 2012) Matriz de tabulación cruzada para mapas de distinta fecha.

No obstante, hay que considerar que el trabajo se ubica en un contexto de índole estadístico. Es decir, considera que una transición es aleatoria si una categoría de ocupación del suelo tiene ganancias de otras categorías en proporción al tamaño de las categorías que han tenido pérdidas, o bien, si la pérdida de esa misma categoría está en proporción al tamaño de aquellas categorías que han ganado. Cualquier diferencia alta de estas proporciones representa una transición sistemática del paisaje (Braumoh, 2006 Pineda et al., 2009.).

En el caso de las ganancias, se asume que la ganancia de cada categoría y la proporción de cada categoría en el tiempo 2 son fijas, para después distribuir la ganancia a través de las otras categorías, según la proporción relativa de las otras categorías en el tiempo 1 (Pineda et al., 2009).

Para cada categoría, sería posible, por tanto identificar la magnitud de las pérdidas (y su transición en nuevos usos de suelo) y de las ganancias (a partir de otros usos de suelo primitivos).

Por otro lado, los cambios de ocupación del suelo se consiguen a través de una sobreposición de mapas temáticos de dos fechas (t1 y t2). La comparación de estos permite calcular la superficie y localización de estos cambios. Sin embargo no proporciona

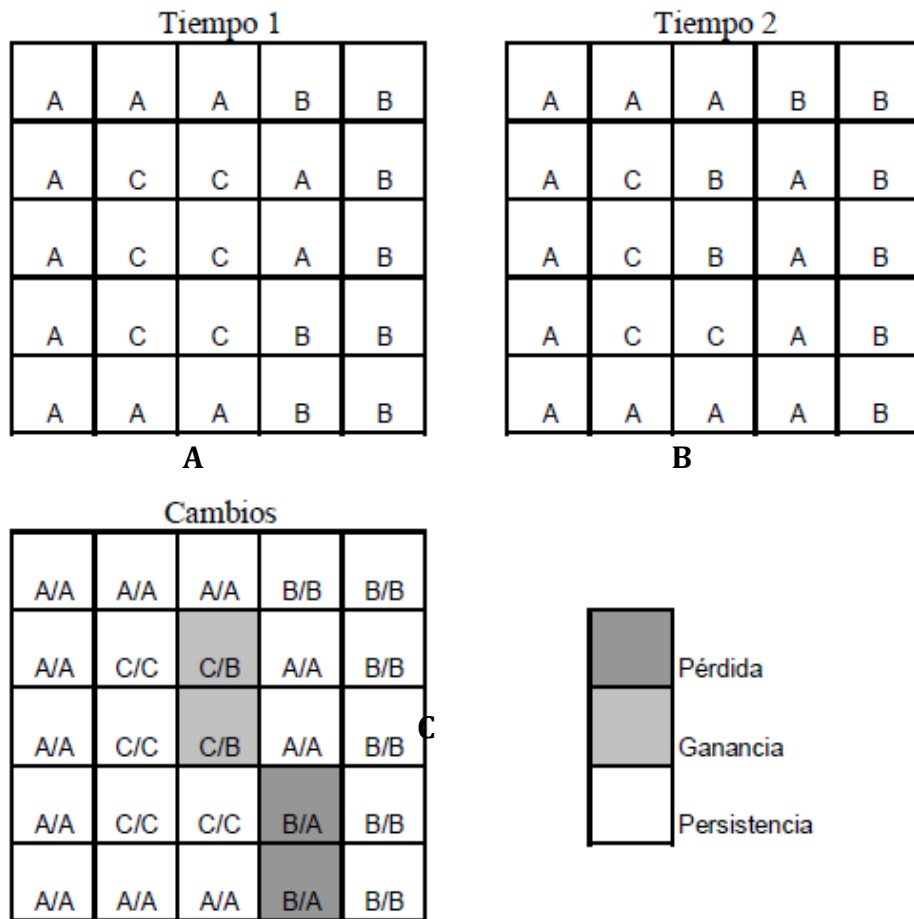
información detallada sobre los procesos de cambio, sino únicamente el balance final de éstos (Mas y Fernández, 2003 en Pineda, 2010).

Una vez obtenida la matriz de tabulación cruzada, es posible calcular una serie de parámetros de gran importancia en el análisis de los cambios de suelos del suelo (Plata Rocha et al., 2008 en Gómez et al 2012).

- ✓ Las **ganancias**, expresadas como la diferencia de la suma total de cada columna y los valores de la diagonal principal, es decir, $G_{ij} = P_{+j} - P_{jj}$.
- ✓ Las **perdidas**, expresadas como la diferencia de la suma total de cada fila y los valores de la diagonal principal, es decir, $L_{ij} = P_{j-} - P_{jj}$. Con estos valores se calcularon posteriormente el cambio neto, el cambio total y los intercambios.
- ✓ El **cambio neto**, expresado como el valor absoluto de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría $D_{j} = |L_{ij} - G_{ij}|$.
- ✓ El **intercambio**, expresado como el doble del valor mínimo de las ganancias o las pérdidas, es decir, $S_j = 2 \times \text{MIN}(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj})$.
- ✓ El **cambio total**, sería el resultado de la suma de las ganancias y las pérdidas, es decir, $DT_j = G_{ij} + L_{ij}$.

Cuando la cantidad de ganancia es igual a la cantidad de pérdida es posible empatar cada ganancia con una pérdida. Un ejemplo de lo anterior se aprecia en la categoría B de la Figura 8, la cual aparentemente no presenta cambios importantes en su superficie entre el tiempo 1 y el tiempo 2, aunque esta supuesta estabilidad oculta dos procesos importantes de intercambio de las categorías C a B y de B a A.

Figura 8 Obtención de los cambios mediante sobreposición temática. Las categorías están dadas por A, B y C para ambos tiempos.

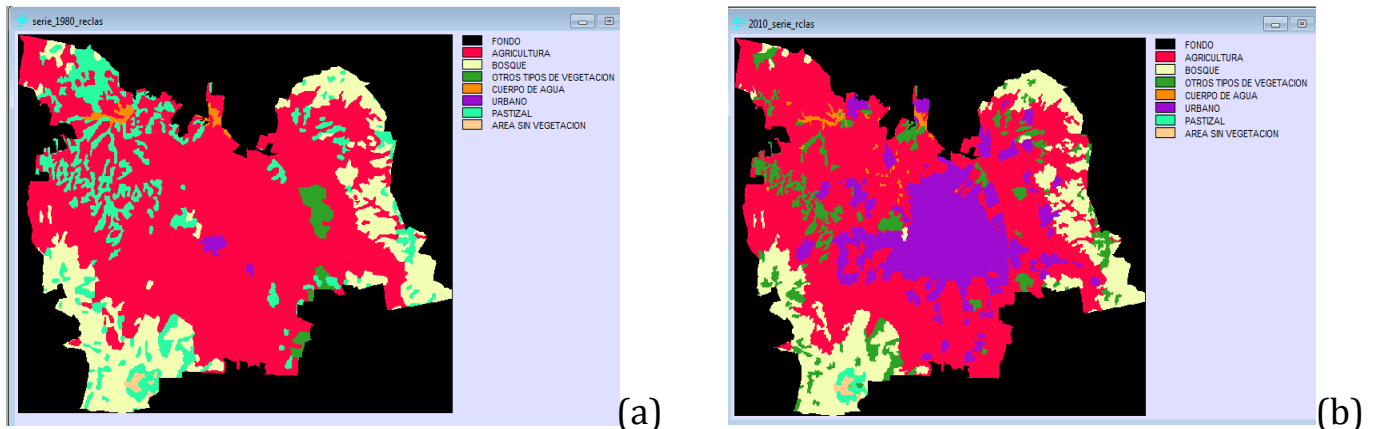


Fuente. En Pineda 2010, análisis de la dinámica de uso de suelo.

El estudio de este fenómeno se ve favorecido si se dispone de la información digital en formato raster. La solución más sencilla que ofrecen los SIG raster al respecto es tratar el tiempo como una nueva dimensión cartográfica que hay que añadir a las dos tradicionalmente consideradas en los mapas figura 9.

De esta manera, el mapa espacio temporal, el SIG representa de manera digital, presenta tres dimensiones independientes (dos espaciales y una temporal) (Gómez et al 2012).

Figura 9 Ocupación del suelo en 1980 (a) y 2010 (b)



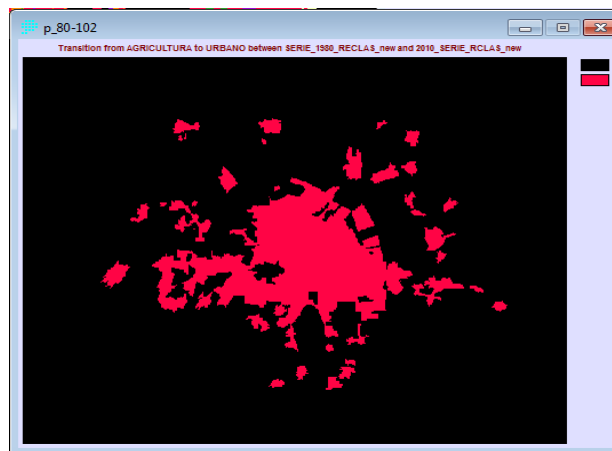
Fuente: imágenes de las categorías del año 1980 y 2010. Elaboración propia.

2.3. Datos de Referencia para la regresión Logística

Para realizar estudios de regresión logística los datos de referencia que se requieren, es una variable dependiente que tiene que ser de tipo binaria, y variables independientes no necesariamente binarias que a su vez pueden ser cuantitativas o cualitativas.

La primera se obtuvo del resultado del cruce de los años 1980 y 2010 para conocer cuánto ha sido el crecimiento urbano en estos treinta años y obtener la variable dependiente para la regresión logística. Que fue del resultado de dos imágenes de diferentes años (ver figura 10).

Figura 10 Obtención de los cambios mediante sobreposición temática. Las categorías para 1980-2010 ambos tiempos.



Fuente. Cruce de los dos tiempos 1980-2010, para ver el crecimiento urbano, elaboración propia.

Mientras tanto las variables o factores explicativos de este fenómeno de expansión urbana se tomaron en consideración de acuerdo a la disponibilidad de información de la región, recopilando información de 12 variables de tipo socioeconómico, proximidad/accesibilidad y de tipo biofísico para aproximarnos y poder determinar el crecimiento urbano tomando como variables independientes en su mayoría de proximidad y accesibilidad (ver Tabla 5).

Tabla 6 Descripción de las variables independientes utilizadas en el modelo de regresión logística.

Tipo de variable	Nombre de la variable	Descripción
Socio-económicas	DensPob	Densidad de población (2010)
	DensCar	Densidad de carreteras (todas)
Proximidad/ Accesibilidad	DMCar	Distancia a Carreteras
	DMBAN	Distancia a Bancos
	DMHosp	Distancia Media a Hospitales de referencia
	DMGas	Distancia Media a Gasolineras
	DMHid	Distancia Media a hidrografía
	DMANatur	Distancia Media a áreas naturales protegida
	DMLoc_Urb	Distancia a localidades Urbanas
Biofísicas	PPCPMe3	%Porcentaje de pixeles con pendiente < 3
	PPCPMe3y6	%Porcentaje de pixeles con pendiente 3-6 %
	PPCAME2000_3000zmt	%Porcentaje de pixeles con altura entre 2000_3000zmt

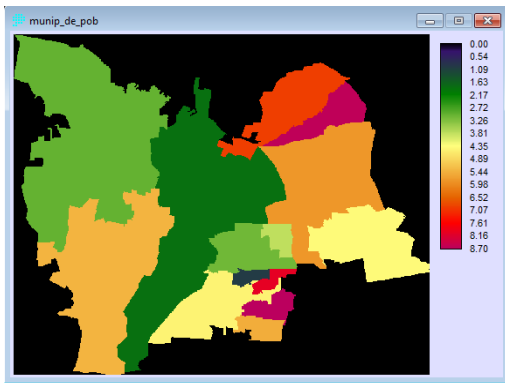
Fuente. Aproximación de variables que miden crecimientos o cambios se refieren al periodo 1980-2010.

Las variables independientes son las siguientes, se encontraban en formato vector, pero para poder trabajar con el tamaño de pixel se transformaron a raster. Con los siguientes parámetros utilizando una rejilla de 1697 columnas por 1696 renglones y una resolución del píxel de 50 por 50 m. Se muestran en la figura 10.

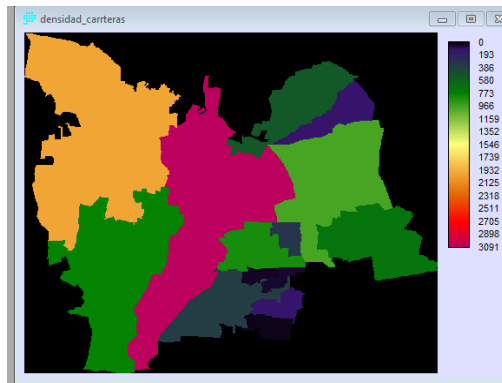
Figura 11 Obtención de los cambios mediante sobreposición temática. Las categorías para 1980-2010 ambos tiempos.

DensPob: (Densidad de población (2010))

DensCar: (Densidad de carreteras)



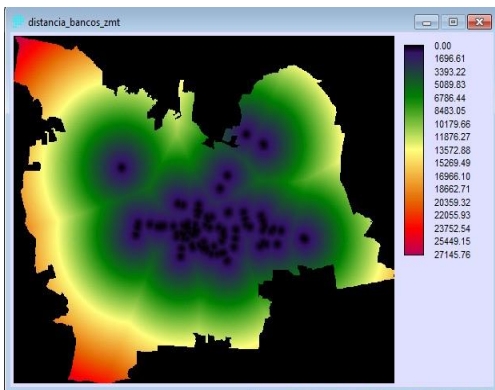
Raster. rst



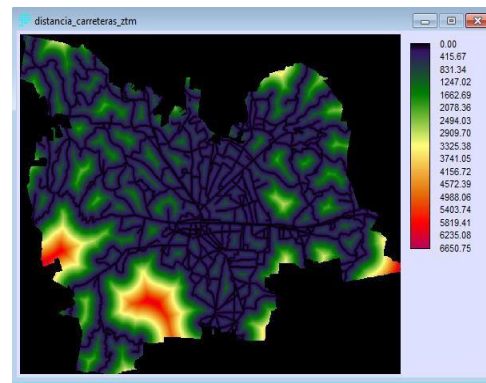
Raster. rst

DMCar: Distancia a Carreteras

DMBAN: Distancia a Bancos



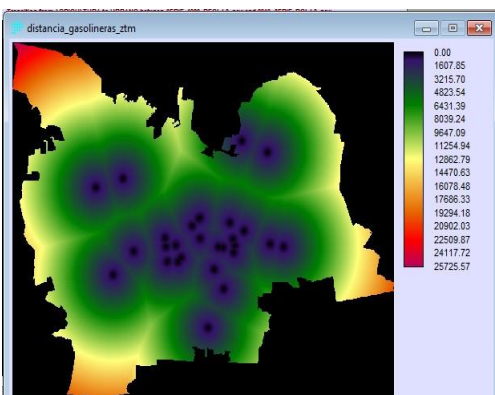
Raster. rst



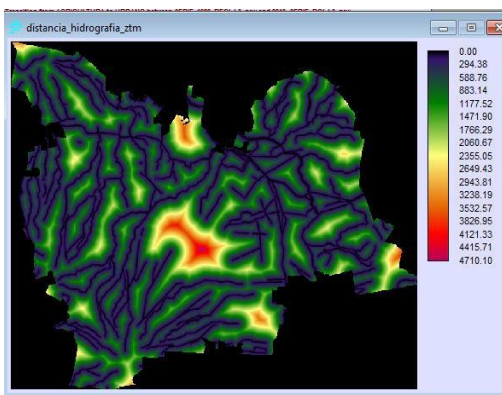
Raster. rst

DMGas: Distancia Media a Gasolineras

DMHid: Distancia Media a hidrografía



Raster. rst

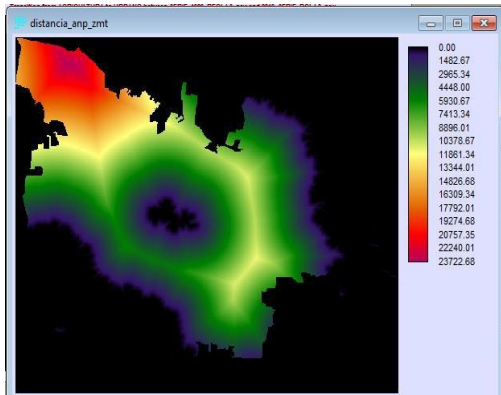


Raster. rst

DMANatur: Distancia Media a áreas

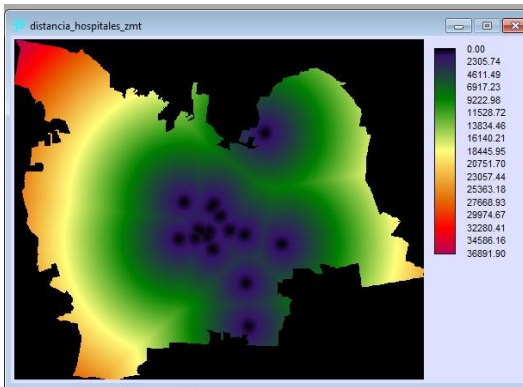
DMLoc_Urb: Distancia a localidades

naturales protegidas



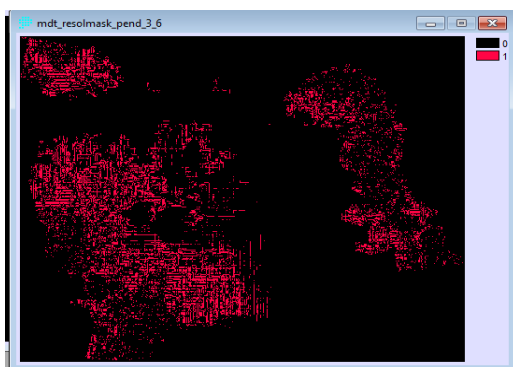
Raster. rst

DMHosp: Distancia a hospitales



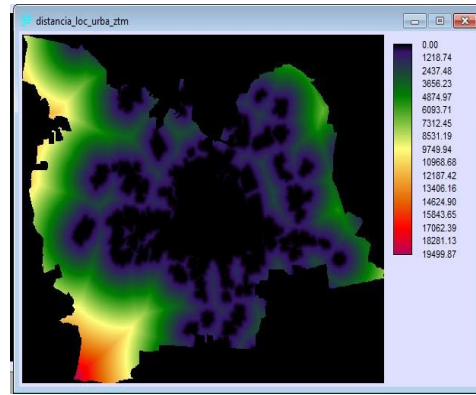
Raster. rst

PPCPMe3y6: %Porcentaje de pixeles con pendiente 3-6 %



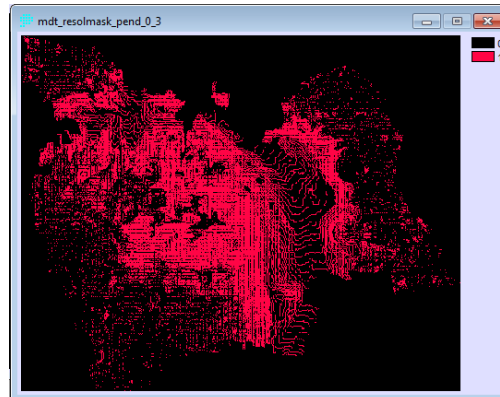
Raster. rst

Urbanas



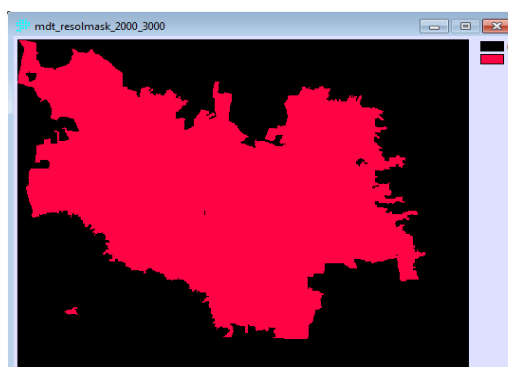
Raster. rst

PPCPMe3: %Porcentaje de pixeles con pendiente < 3



Raster. rst

PPCPMe3: %Porcentaje de pixeles con altura entre 2000_3000zmt



Raster. rst

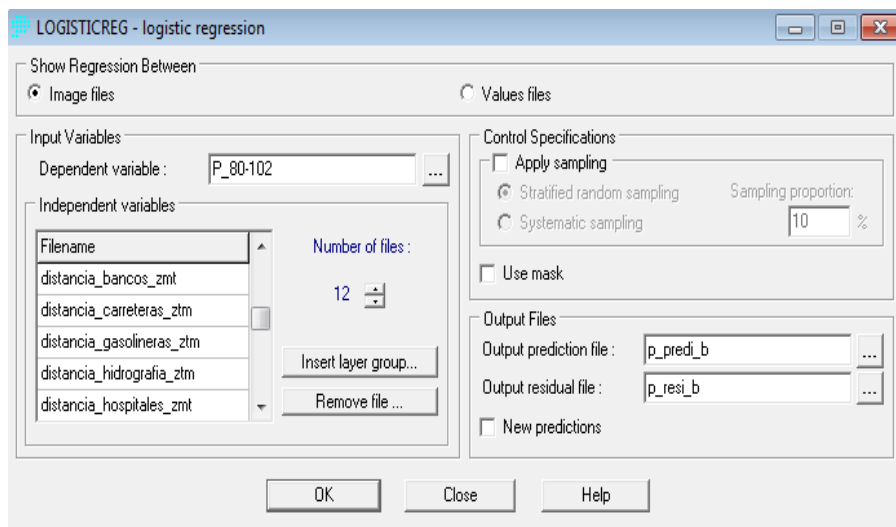
Fuente. Variables independientes. Elaboración propia.

Para la regresión logística como ya se menciono anteriormente se utilizo información socioeconómica, proximidad/accesibilidad y biofísica siendo estas las variables independientes, todas ellas referidas al municipio como unidad de observación espacial.

En segundo lugar se analizó la influencia de algunos factores que conducen al crecimiento urbano de la zona metropolitana del valle de Toluca, utilizando el píxel como unidad de observación espacial.

El modelo de regresión logística se proceso en Idrisi en el modulo de **LOGISTICREG** en él se introdujeron la variable dependiente e independiente (ver figura 12).

Figura 12 Modulo LOGISTICREG de Idrisi.



Fuente. Variable dependiente e independientes elaboración propia.

2.3.1 Análisis de los factores explicativos del crecimiento urbano mediante Regresión logística.

Históricamente el crecimiento de las ciudades estaba determinado por el aumento de la población. Sin embargo, en la actualidad y en lugares donde hay poca o ninguna presión demográfica, existe otra variedad de factores que influyen en su crecimiento (EEA, 2006 en Plata Rocha, 2010).

Los métodos de análisis más utilizados en este tipo de estudios, según se deriva de la revisión realizada en el apartado anterior. La explicación del crecimiento urbano, mas en particular, la determinación de las causas y factores que lo generan, es una cuestión complicada y difícil de estudiar como lo mencionan Valenzuela et al en Gómez 2012, sin embargo tener resuelto o, al menos, mediante conocido este problema en esencial en la línea de realizar modelos de simulación a futuro del crecimiento urbano.

Como objetivo del trabajo es determinar los factores que expliquen de forma cuantitativa la localización de las nuevas superficies artificiales en la Zona metropolitana del valle de Toluca, así como la aplicación del método estadístico Regresión Logística en el análisis del crecimiento urbano, utilizando como unidad espacial de observación los municipios.

Esta dinámica de crecimiento urbano está provocando importantes cambios de usos del suelo, ocasionando como consecuencia una enorme presión sobre el territorio y sus recursos naturales, sobre la calidad de vida de las personas y sobre la sostenibilidad global del planeta (OSE, 2006). Es de gran importancia, por tanto, estudiar los patrones de crecimiento de las nuevas zonas urbanas y analizar los factores que inciden en el mismo a través del análisis espacial cuantitativo de las relaciones entre diversas variables (socioeconómicas, biofísicas, de accesibilidad, etc.) (Plata Rocha, 2010).

2.3. 2. Regresión logística espacial (RLE)

Es un modelo de regresión lineal o simple, donde la variable dependiente es binaria o dicotómica. Se utiliza para explicar y predecir una variable categórica binaria (dos grupos) en función de varias variables independientes que a su vez pueden ser cuantitativas o cualitativas.

También como lo dicen Santos Preciado, et al (2008); la regresión logística es una de las herramientas estadísticas con mejor capacidad para el análisis de datos. Este análisis resulta idóneo para estudiar la relación entre una o más variables independientes (X_i), de

tipo cualitativo o categórico o cuantitativo, y una variable dependiente **Y** de tipo dicotómico (**Y= sí** o **Y= no**). También puede ser usada para estimar la probabilidad de aparición de cada una de las posibilidades de un suceso con más de dos categorías (politómico).

El modelo de regresión logística se plantea predecir la probabilidad estimada de que la variable dependiente **Y** presente uno o dos valores posibles (**1= sí y 0= no**), en función de los diferentes valores que adopte el conjunto de variables independientes **X_i**. Trata de predecir la proporción o probabilidad, para cada una de las dos categorías de la variable independiente (**Sí** y **No**), en función de una o más variables dependientes (Santos Preciado, et al 2008).

El modelo de la probabilidad **P** con la denominada función logística es la siguiente:

$$P = \frac{e^{a+B_1x_{i1}}}{1 + e^{a+B_1x_{i1}}}$$

De esta manera, los valores que alcanzan la probabilidad **P** se mueven entre los valores de 0 y 1. La ecuación descrita se denomina función logística y puede expresarse igualmente, de la siguiente manera:

$$P = \frac{e^{a+B_1x_{i1}}/1 + e^{a+B_1x_{i1}}}{1/1 + e^{a+B_1x_{i1}}} = e^{a+B_1x_{i1}}$$

Si transformamos, de forma logarítmica, los dos términos de la ecuación, se obtendría la siguiente función:

$$\ln = \left[\frac{P}{1-P} \right] = a + B_1x_{i1}$$

Ahora si podríamos obtener el valor de **P** a través de la ecuación de regresión tradicional. En el caso de que tratáramos de obtener la relación entre la función dependiente y la variable independiente, la relación sería:

$$\ln —$$

$$=a+b \text{ [Variable independiente]}$$

Que se puede convertir, con una pequeña manipulación algebraica, en:

$$\text{Probabilidad} = \frac{1}{1 + e^{(-a - b \text{Variable independiente})}}$$

Este es precisamente, el tipo de ecuación que se conoce como modelo logístico, donde el número de factores puede ser más de uno. Así en el exponente que figura en el denominador de la ecuación podríamos tener:

$$a + b_1.\text{densidad_poblacion} + b_2.\text{densidad_carreteras} + b_3.\text{distancia_carreteras} + b_4.\text{distancia_hospitales} + b_5.\text{pendiente_3\%}$$

Los posibles factores que hay que considerar deberían proceder una reflexión conceptual, como lo menciona en Gómez 2012, de unas teorías socioterritorial que fundará la selección de las variables explicativas a partir de las cuales establecer indicadores empíricas y operativas.

Como se ve en la literatura sobre el tema, muestra la existencia de estudios empíricos que utilizan variables y factores explicativos más o menos razonables que pueden existir entre diversos fenómenos y causas del crecimiento urbano.

En cualquier, caso este análisis con lleva un gran esfuerzo debido, principalmente, a gran diversidad de factores que, en su conjunto, define las pautas del crecimiento urbano los cuales pueden ser analizados de manera cuantitativa utilizando técnicas estadísticas, y de forma espacial, utilizando las Sistemas de Información Geográfica.

Al igual que otros modelos de regresión, los de RL tienen dos funciones principalmente, son útiles para realizar análisis de predicción y también pueden utilizarse para captar la relación que hay entre una variable dependiente y un conjunto de variables independientes.

Para validar la calidad del ajuste de los modelos se utilizó el estadístico ROC (*Relative Operating Characteristic*). Es una medida directa de la capacidad de discriminación del modelo, que toma valores próximos a 1 cuando existe un buen ajuste con los datos, mientras que un valor cercano a 0,5 significa que el ajuste no es mejor que el obtenido por azar (Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007 en Pineda 2010).

No existen reglas generales para juzgar los valores ROC en los estudios de cambio de uso y cobertura del suelo, pero algunos consideran que cualquier valor por arriba de 0,7 es considerado aceptable, mientras que valores arriba de 0,8 son excelentes y de 0,9 son excepcionales (Hosmer y Lemeshow, 2000 en Pineda 2010).

Capítulo 3. Resultados

3.1 Análisis de la dinámica de los cambios

A continuación se hará el análisis de los resultados de la dinámica de suelos del área Metropolitana del Valle de Toluca para ver que tanto ha cambiado la ciudad desde 1980 al 2010 que es el primer objetivo de al realizar una descripción de los cambios de uso y cobertura del suelo, en particular del suelo urbano.

Al realizar en idrisi como se menciona anteriormente en la metodología en la parte de datos de referencia en apartado análisis de la dinámica de los cambios de los tipos de uso de suelo. En el Land Change Modeler mostrado en la figura 5 (LCM) nos permitió evaluar y cuantificar los cambios de ocupación del suelo. Como ya sabemos este método utilizado nos muestra se va dando la evolución en el suelo/ ocupación del suelo.

Así como las ganancias, pérdidas, cambios netos y contribuciones que aportan cada una de las categorías de ocupación del suelo en cuestión. También se obtienen fácilmente mapas de persistencia, transiciones e intercambios entre categorías. Es decir, las transiciones entre categorías fueron calculadas en Excel por separado resultado de una tabulación cruzada.

De acuerdo con la Tabla 7, las categorías “perdedoras” son la agricultura y el pastizal, seguidos del bosque mostrando porcentajes altos. Sin embargo, el cambio neto de las categorías mencionadas es muy bajo en la agricultura y bosque mientras que el pastizal muestra mayor cambio neto al igual que lo urbano y otros tipo de vegetación, tal y como lo demuestran los valores de la fila correspondiente.

Por otra parte las categorías “ganadoras” son nuevamente lo urbano, agricultura y otros tipos de vegetación. Aunque en el cambio neto solo las categorías que se mantienen son urbano, otros tipos de vegetación y pastizal que no superan en cambio neto a las dos primeras, por lo que se confirma que si bien la agricultura y el pastizal son las categorías

que más cambiaron en términos absolutos, la mayor parte se debe a intercambios con otras categorías.

Tabla 7 Resumen de los cambios de ocupación del suelo (hectáreas y porcentaje (%))

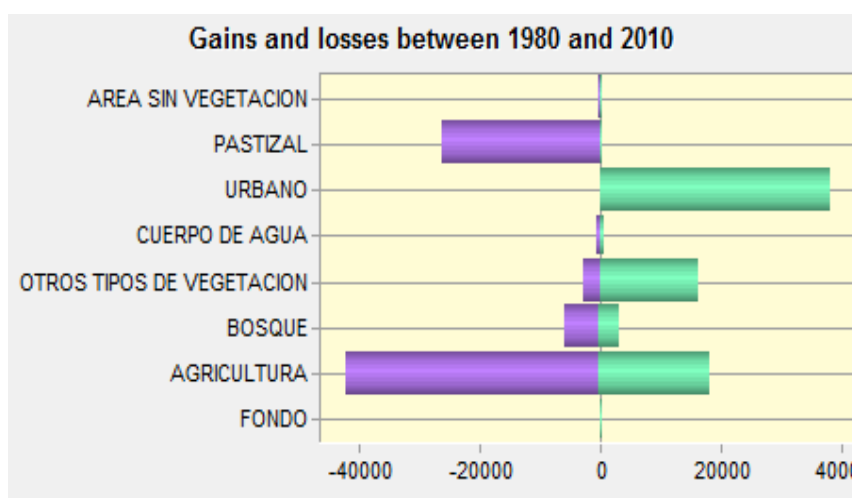
Categorías	T1:1980		T2:2010		Ganancia		Pérdidas		Cambio total		Cambio neto		Intercambio	
	ha	%	Ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Agricultura	132391	65.74	135339	67.21	19121.5	37.11	16173	31.39	35294.5	34.25	2948.5	2.86	32346	31.39
Bosque	35519	17.64	33349.5	16.56	3602.75	6.99	5772.5	11.20	9375.25	9.10	2169.75	2.11	7205.5	6.99
Pastizal	27296	13.55	1231.75	0.61	204	0.40	26267.75	50.98	26471.75	25.69	26063.75	25.29	408	0.40
Cuerpo de Agua	1321	0.66	1585	0.79	698	1.35	433.75	0.84	1131.75	1.10	264.25	0.26	867.5	0.84
Otros tipos de Vegetación	3343	1.66	17308	8.59	16672.5	32.36	2707	5.25	19379.5	18.81	13965.5	13.55	5414	5.25
Urbano	884	0.44	12018.25	5.97	11146.25	21.63	11.75	0.02	11158	10.83	11134.5	10.81	23.5	0.02
Área de Veetación	623	0.31	543.75	0.27	78.75	0.15	158	0.31	236.75	0.23	79.25	0.08	157.5	0.15
Total	201375.25	100.00	201375.25	100.00	51523.75	100.00	51523.75	100.00	51523.75	100.00	28312.75	54.95	23211	45.05

51523.75

Fuente: Elaboración propia a partir del CrossTab de 1980 y 2010

Con lo anterior, si sólo se analiza el cambio neto por categoría se nota claramente una tendencia a perder agricultura, pastizal y bosques mientras que ganar superficie lo urbano (asentamientos humanos) junto con el pastizal. La grafica 1 presenta el cambio neto de cada una de las 7 categorías de la zona de estudio entre 1980 y 2010.

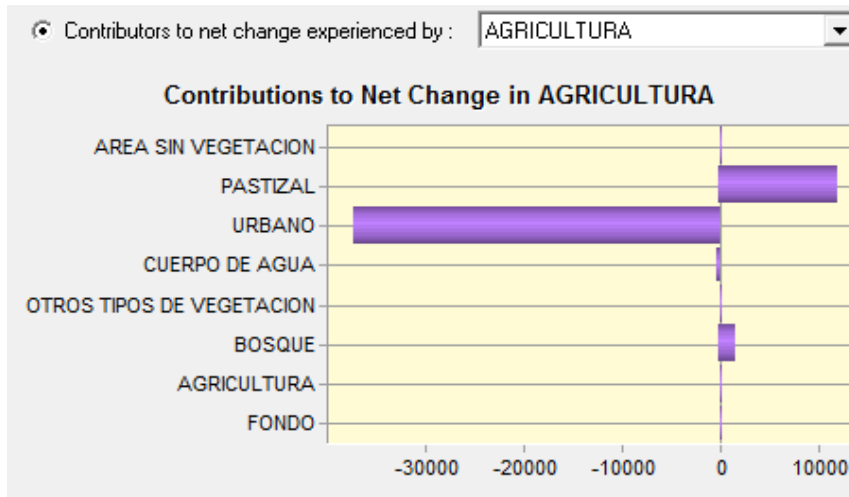
Gráfica 2 Cambio neto en hectáreas entre 1980-2010 a nivel de tipo de vegetación.



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía las series de INEGI de 1980 y 2010.

La categoría que ha sufrido las mayores pérdidas netas es la agricultura ya que durante el período de estudio 29.48 ha fueron transformadas a urbano y pastizal. En cuanto al pastizal observamos que la ganancia en superficie de esta categoría fue a costa de los bosques (*ver grafica 2*).

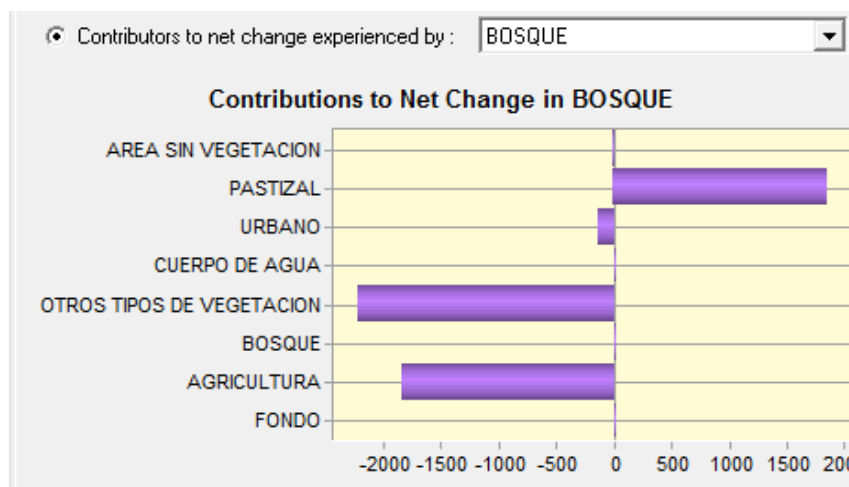
Gráfica 3 Contribuciones en hectáreas entre 1980-2010 a nivel de tipo de agricultura.



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía las series de INEGI de 1980 y 2010.

Por otro lado, los datos de las contribuciones del bosque han sido en zonas de pastizal como se muestra en la grafica 3. Esto demuestra que el avance de la superficie de pastizal en la zona metropolitana de Toluca no sólo se debe a la pérdida de bosques, sino también a la conversión de las zonas de otros tipos de vegetación, y agricultura.

Gráfica 4 Contribuciones en hectáreas entre 1980-2010 a nivel de tipo de bosque.

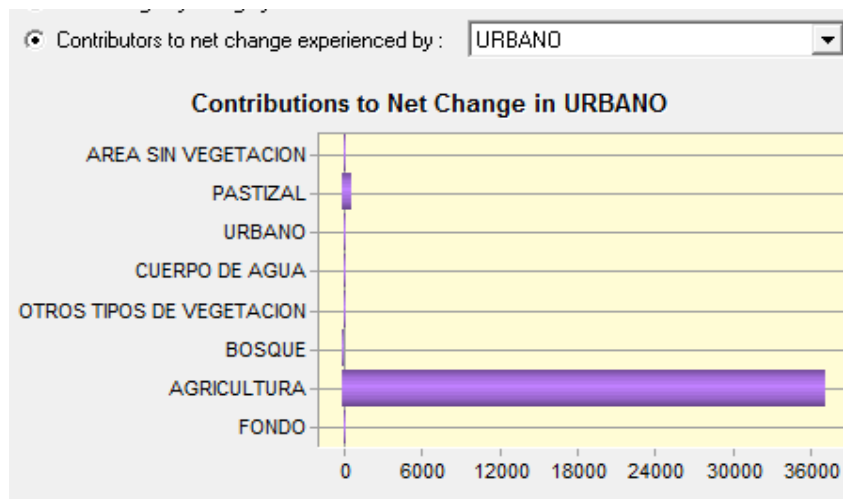


Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía las series de INEGI de 1980 y 2010.

Esta forma de analizar la matriz de cambios permite distinguir claramente un cambio neto de un cambio total, ya que este último oculta de cierta manera los intercambios que se dan entre categorías. En este caso, durante el período de estudio y nivel categoría, el cambio total que sufrió la zona metropolitana de Toluca corresponde 34% a 35294.5 ha. De este cambio 32346 ha corresponden a intercambios entre categorías y 2948.5 ha son consideradas cambios netos (*ver tabla 7*).

Los cambios que se observan en la grafica 4 presentan los procesos crecimiento de los asentamientos humanos a costa de las superficies agrícolas. Se observa que una cantidad importante de las pérdidas que presentaron las zonas agrícolas que han contribuido al crecimiento de los asentamientos humanos. Esta cifra corresponde a casi la totalidad del crecimiento urbano en el período de estudio de 1980 a 2010.

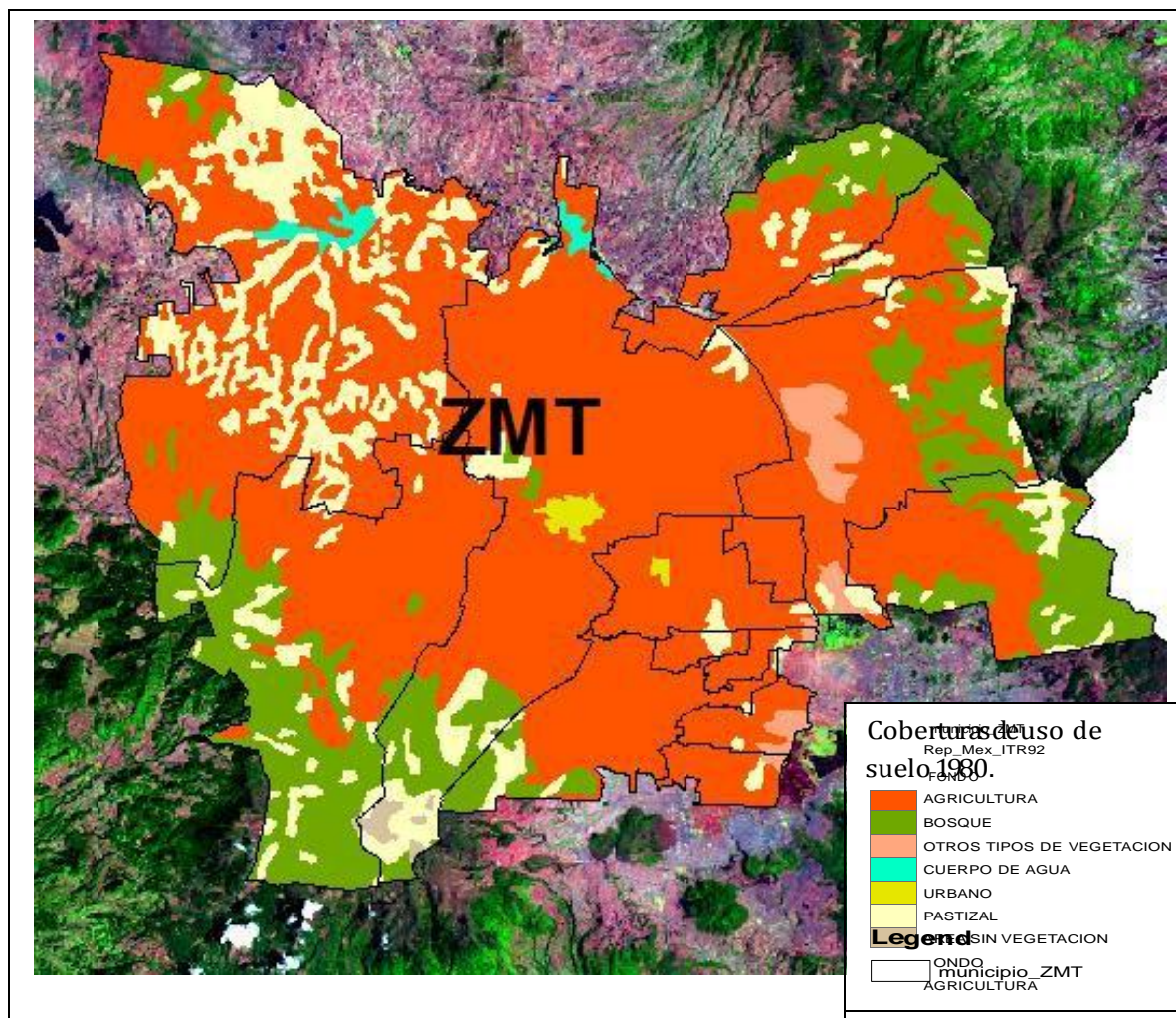
Gráfica 5 Contribuciones en hectáreas entre 1980-2010 a nivel de tipo de Urbano.



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía las series de INEGI de 1980 y 2010.

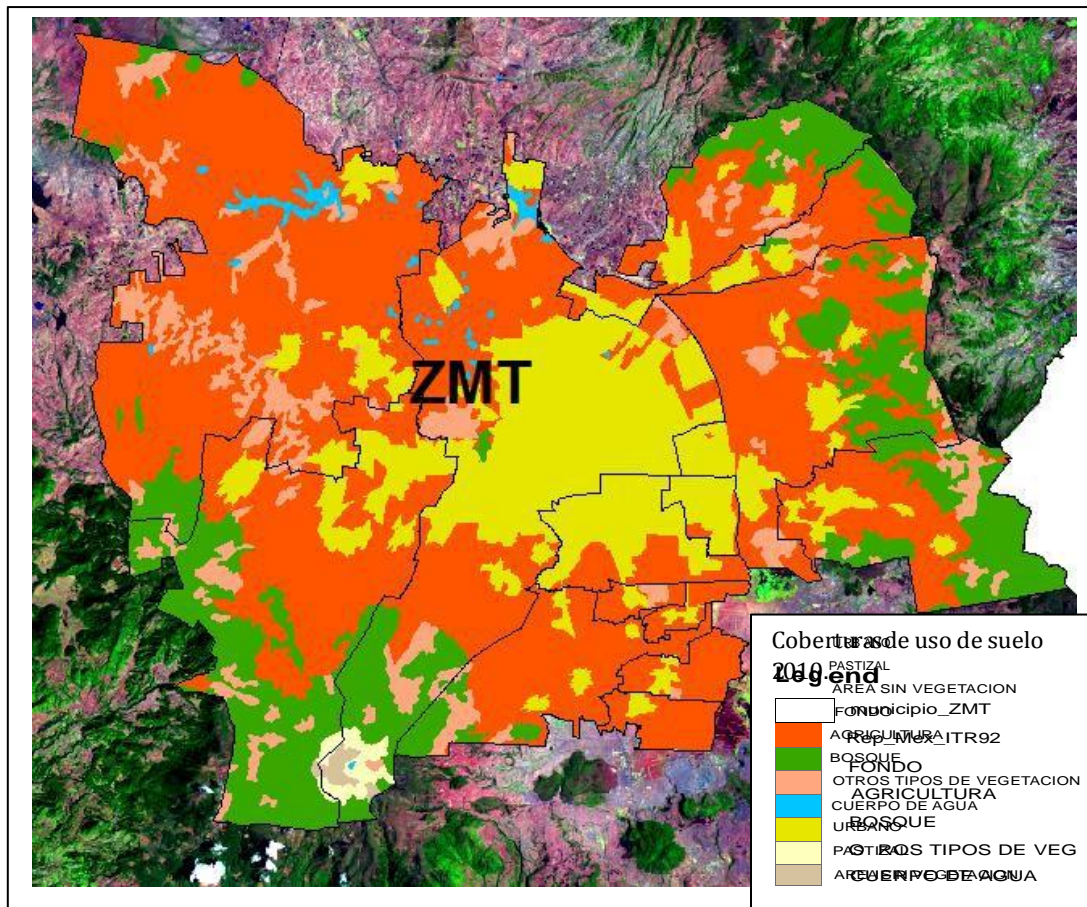
Como se observa en la figura 13 en tonalidad amarillo los asentamientos humanos para este año se muestran con un 10% de la zona metropolitana de Toluca y como se explicaba anteriormente la cobertura que mas predominaban era la agricultura con un 80% le siguen bosques y otros tipos de vegetación entre 20 y 30%.

Figura 13 Coberturas de uso de suelo del año de 1980.



Mientras para el año 2010 la cobertura que creció el lo urbano con un 50% en tonalidad amarillo mientras que la agricultura disminuyo por el crecimiento urbano, y las coberturas que permanece el bosque y pastizal (ver figura 14).

Figura 14 Coberturas de uso de suelo del año de 2010.



3.2. Regresión logística

Estudiando las variables a nivel de pixel. La Tabla 7 muestra los resultados del modelo ajustado por este método, en la primera columna se presentan las variables independientes y en la segunda el coeficiente estimado.

Se observa con mayor claridad como las variables de proximidad son las que inciden con mayor fuerza en el modelo de regresión logística.

Mientras que las variables relacionadas con las socioeconómicas, tienen una relación positiva con la variable dependiente, siendo la de Densidad de población la que más influye en el crecimiento urbano.

Lo mismo sucede con los factores biofísicos como la altitud y la pendiente, aunque en este caso la dirección de la relación es negativa en todos los modelos aunque presenta positivo en las pendientes con porcentajes de pixeles de 3%. Así mismo encontramos que la regresión va en cuanto a una dirección e intensidad.

En la cual al encontramos que hay un valor positivo en la variable de densidad de población en la que un mayor crecimiento de la mancha urbana se va a dar un mayor densidad de población con un coeficiente de 0.67467681.

Tabla 8 Resultados de la regresión Logística.

Variables	Coeficiente
Densidad de carreteras	0.00066528
Densidad de Población	0.67467681
Distancia a Áreas Naturales Protegidas	0.00007458
Distancia a bancos	0.00004613
Distancia a carreteras	0.00187352
Distancia a gasolineras	0.00008306
Distancia hidrografía	-0.00072542
Distancia a hospitales	-0.00024645
Distancia a localidades urbanas	-0.13083753
Porcentaje de pixeles con pendiente < 3	0.21539492
Porcentaje de pixeles con pendiente 3-6 %)	-0.13572325
Porcentaje de pixeles con altura entre 2000_3000zmt)	0.00000071

Fuente: Elaboración propia a partir del resultado del modelo de regresión logística.

Por otro lado otra variable que tiene un efecto positivo en el crecimiento urbano en la zona metropolitana de Toluca es la de porcentajes de pixeles con pendiente de 3%, esto quiere decir que a mayor cantidad de pixeles que están en las pendientes de 3% se dará un mayor crecimiento de la zona urbana siendo zonas con condiciones adecuadas para que se de un crecimiento urbano (pendientes suaves y altitudes bajas).

Sin embargo también encontramos que aunque algunas variables sean positivas no influyen tanto en el crecimiento urbano, aunque se entiende que a mayor crecimiento urbano la distancia a gasolineras, bancos y carreteras será mayor ya que la accesibilidad a estos servicios se encontraran más alejados de la mancha urbana y espacios de áreas naturales protegidas más próximos .

Las variables que presentan valores en negativos son distancia a hospitales, hidrografía y localidades urbana, esto quiere decir que a mayor crecimiento urbano es menor la distancia a estos.

Por último, se desprende del modelo que la densidad de población y distancia a carreteras son factores que influyen en el crecimiento urbano, que al mismo modo que las condiciones de accesibilidad a hospitales, densidad de carreteras y bancos.

Los resultados también pueden ser interpretados en términos de probabilidad. En este caso se puede observar como las variables de proximidad a carreteras, áreas naturales protegidas, corrientes de agua, carreteras y localidades con mayor 2500 habitantes lo que influye en el crecimiento urbano.

Finalmente la validación de la calidad del modelo se utilizó el estadístico ROC (*Relative Operating Charasteric*). como se sabe es una medida directa de la capacidad de discriminación del modelo, que toma valores próximos a 1 cuando existe un buen ajuste con los datos, mientras que un valor cercano a 0,5 significa que el ajuste no es mejor que el obtenido por azar dando como $ROC = 0.99$. Para validarlo de nuevo se tendría que ver que la información tenga una mejor calidad.

No existen reglas generales para juzgar los valores ROC en los estudios de cambio de uso y cobertura del suelo, pero algunos consideran que cualquier valor por arriba de 0,7 es considerado aceptable, mientras que valores arriba de 0,8 son excelentes y de 0,9 son excepcionales.

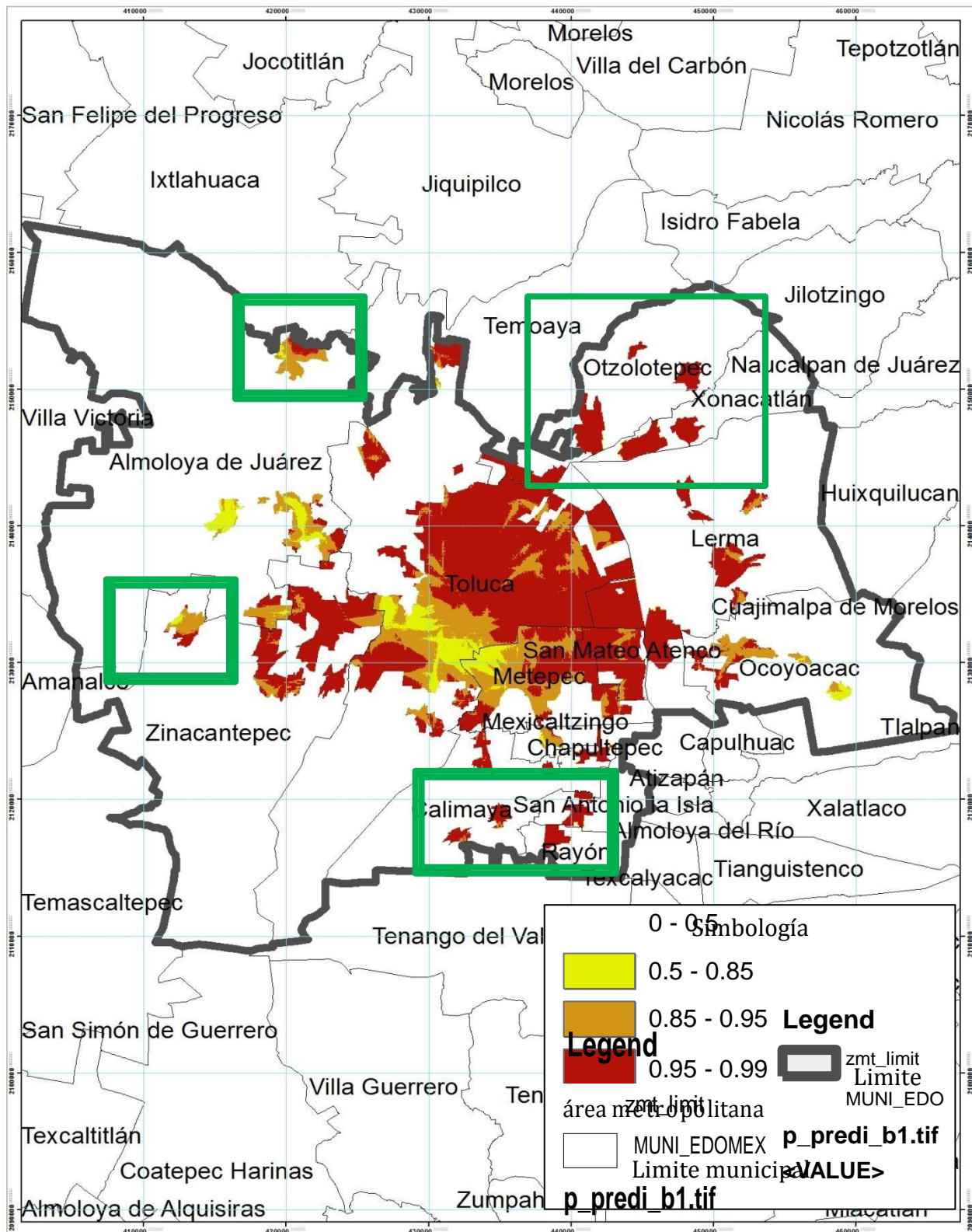
Como resultado el mapa de predicción se elaboro junto con la tabla 8 de coeficientes, cuando se aplico el modelo de regresión logística, el cual incluye algunas variables independientes como son hospitales, gasolineras, carreteras, ríos y localidades urbanas, en formato vector para ver como se encuentran espacialmente y poder aproximarnos a los factores que explique o incidan en el crecimiento urbano, mediante la probabilidad de que se de el crecimiento urbano en ciertas áreas de la zona metropolitana del valle de Toluca (*ver figura 15*).

Para la predicción se realizo una clasificación de tres categorías que van de 0.5 a 0.85%, 1.85 a 0.95% y 0.95 a 0.99% para que nos muestre las áreas con probabilidad de crecimiento urbano que se encuentran en el mapa con tonalidades rojas.

Los cuadros de color verde muestran zonas con mayor probabilidad de que se de un crecimiento urbano así esas zonas en recuadro.

El color rojo nos muestra la densidad de población y los colores naranjas es una nueva forma de reciclamiento de espacios.

Figura 15 Mapa de predicción con variables independientes



Fuente: Elaboración propia a partir del resultado del modelo de regresión logística.

Conclusiones

- ❖ La metodología empleada para el cambio y ocupación del suelo es de gran utilidad ya que permite hacer el análisis de la información cualitativa y cuantitativa para ver los cambios que ha ocurrido entre 1980 y 2010.
- ❖ De acuerdo a los resultados obtenidos, se ha comprobado que en la zona metropolitana del valle de Toluca, presentó importantes cambios en el uso y ocupación del suelo entre 1980 y 2010 .
- ❖ Así como, permitió detectar los procesos más significativos que se han dado para el crecimiento urbano (ganancias) y en la agricultura (pérdidas) de las diferentes categorías de ocupación del suelo.
- ❖ Los resultados indican que las categorías de la agricultura y bosques perdieron superficie, mientras que los asentamientos humanos y el pastizal, crecieron en extensión; aumentaron en el mismo período.
- ❖ Se debe mencionar que la metodología para el análisis de la tabla de cruces de las ocupaciones del suelo permitió identificar mejor todas las categorías y poder así emparejar, con facilidad, las transiciones sistemáticas de pérdidas y ganancias de ciertas categorías con procesos de crecimiento urbano, lo que supone un interesante resultado metodológico.
- ❖ Por otra parte, los resultados obtenidos mediante los modelos de Regresión Logística muestran que los factores de proximidad son los que muestran una mayor influencia en el crecimiento de áreas urbanas, siendo zonas con mayor densidad de población las que tienen mayor probabilidad de darse un crecimiento urbano.
- ❖ En este sentido, las zonas urbanas que están próximas a las carreteras y servicios tienen también alta probabilidad de tener un crecimiento urbano, con un porcentaje mayor a 50%.
- ❖ Sin embargo, como se plantea en el objetivo del trabajo solo se hace una aproximación a los factores que inducen en el cambio de uso de suelo en particular de urbano, se observa que los factores que más influyen son con mayor claridad

como las variables socioeconómicas y de proximidad son las que inciden con mayor fuerza en el modelo de regresión logística.

- ❖ Se observa mientras que las variables relacionadas con las socioeconómicas, tienen una relación positiva con la variable dependiente, siendo la de Densidad de población la que más influye en el crecimiento urbano.
- ❖ Los resultados obtenidos muestran que este tipo de estudios pueden contribuir de manera importante al proceso de toma de decisiones, ya que la información generada puede ser útil a los planificadores para analizar y gestionar de forma más óptima para los nuevos asentamientos humanos.
- ❖ Una limitante puede ser que los resultados son muy generales ya que la información que se empleo tenía un a escala de trabajo 1:250000 lo que hace que la información este muy general, se tendría que realizar con una escala de trabajo más local para que nos aproximemos mas a los factores que inciden en el crecimiento urbano.
- ❖ Que se deberían de meter más variables como el predio de uso de suelo para ver como incidiría esta variable en la regresión logística.
- ❖ Finalmente, los métodos de cambio y uso de suelo como los estadísticos procuran aportar elementos que ayuden a explicar en qué medida los factores aquí planteados están relacionados con los procesos del crecimiento urbano en la zona metropolitana de Toluca en el Estado de México.
- ❖ Del mismo modo, los resultados muestran que la aplicación conjunta de métodos estadísticos y tecnología SIG, es una potente herramienta de análisis geográfico. En el que tiene la posibilidad de interactuar y elaborar una amplia variedad de cartografía estadística con los resultados que, podrían servir como base metodológica en futuros procedimientos de planificación.
- ❖ Es importante rescatar la metodología para próximos estudios, para que quede mejor sería recortar el periodo de tiempo y poder ver los resultados y si se comportan igual.

Bibliografía

- ❖ **Chasco Yrigoyen, Coro.** Métodos Gráficos del Análisis exploratorio de Datos Espaciales, E-mail: coro.chasco@uam.es, Instituto L.R. Klein-Dpto. de Economía Aplicada Universidad Autónoma de Madrid.
- ❖ **Gobierno de Estado de México, 2012.** Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Aspectos sociodemográficos. Primera edición: junio de 2012, D.R. © 2012 consultado en internet en diciembre de 2013: http://portal2.edomex.gob.mx/coespo/centrodedocumentacion/descargas/groups/public/documents/edomex_archivo/coespo_pdf_zm12.pdf
- ❖ **Gómez et al 2012.** Análisis de la dinámica urbana y simulación de escenarios de desarrollo Futuro con tecnologías de la información geográfica. Editorial, Ra-Ma.
- ❖ **Humacata, Luis 2010.** Análisis exploratorio de datos socio-espaciales mediante gráficos interactivos: aproximación univariada y bivariada aplicada a la provincia de Buenos Aires (ARGENTINA). Universidad Nacional de Luján, Departamento de Ciencias Sociales – Programa de Estudios Geográficos Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG) – www.gesig-proeg.com.ar
- ❖ **INEGI, 2012.** Guía para la interpretación de cartografía. Uso del suelo y vegetación Escala: 1: 250 000 Serie IV. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México).
- ❖ **Mas, J. R. Díaz Gallegos, R. Mayorga Saucedo, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, J. L. Palacio A. Velázquez, J. F.** Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México Gaceta Ecológica, núm. 62, 2002, pp. 21-37, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales México.
- ❖ **Mas, J.F et al ., 2002.** Evaluación de los factores del aislamiento, la topografía, los suelos y el estatus de protección sobre las tasas de deforestación en México. Instituto de geografía – Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Editora UFPR.
- ❖ **Mas, J.F et al ., 2002.** Monitoreo de los cambios de cobertura en México, CD de las memorias del II seminario latinoamericano de Geografía Física, Maracaibo, Venezuela, 24-27 de julio de 2002.

- ❖ **Mas, J.F., Velásquez, J.R., Díaz-Gallegos, Mayorga-Saucedo, Alcántara, C., Bocco, G., Castro, R., Fernández, T. y Pérez-Vega, A. 2004.** Monitoreo de los recursos forestales de México en las tres últimas décadas. Aplicaciones de geotecnologías para la ingeniería forestal. Memorias del VI seminario de actualización en Sensores Remotos y SIG aplicados a la ingeniería forestal, editado por A.A. Disperati y J.R. dos Santos, pp. 41-49.
- ❖ **Pineda et al., 2009.** Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. Recibido: 19 de enero de 2008. Aceptado en versión final: 20 de agosto de 2008.
- ❖ **Pineda et al., 2011.** Análisis de los factores inductores de los cambios ocurridos en la superficie forestal del Estado de México en el período 1993-2000. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N.º 56 - 2011, págs. 9-34
- ❖ **Pineda, 2010.** Tesis doctoral Descripción, análisis y simulación de procesos forestales en el Estado de México Mediante Tecnologías de la Información Geográfica. Alcalá de Henares, Madrid; Julio de 2010.
- ❖ **Plata et al., 2008.** Análisis de los factores explicativos del crecimiento urbano en la comunidad de Madrid a través de métodos estadísticas (RLM Y PLS) Y SIG, en XIII Congreso Nacional de Tecnologías de la información Geográfica, las palmas de Gran Canaria, España.
- ❖ **Plata Rocha, Wenseslao, 2010.** Tesis Doctoral “Descripción, Análisis y Simulación del Crecimiento Urbano Mediante Tecnologías de la Información Geográfica. El Caso de la Comunidad de Madrid. Alcalá de Henares, Junio de 2010.
- ❖ **Santos Preciado, et al 2008.** Análisis estadístico de la Información Geográfica.”La Regresión Logística”, Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid; Primera edición, septiembre 2008
- ❖ **SEDESOL-CONAPO-INEGI.** Zona Metropolitana de Toluca. Consejo Estatal de Población, Centro de Documentación. Consultado de internet http://qacontent.edomex.gob.mx/idc/groups/public/documents/edomex_archivo/coespo_pdf_zmvt.pdf, el mes de noviembre 2013.