



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE GEOGRAFÍA

Proyecto terminal

Aplicación de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la localización óptima de conjuntos habitacionales: caso de estudio zona metropolitana de Toluca.

Que para obtener el grado de:

Especialista en Cartografía Automatizada, Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.

Presenta:

Lic. en G. Eliel Hilario Francisco Antonio

Asesor:

Dr. en G. Noel Bonfilio Pineda Jaimes

Toluca, Estado de México

Julio, 2019

CONTENIDO

Introducción	7
Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Planteamiento del problema	10
Justificación	12
Capítulo I. Fundamentos teóricos conceptuales.	13
1.1 Los SIG y el análisis espacial multicriterio.	13
1.2 Evaluación Multicriterio.....	13
1.3 Crecimiento urbano y análisis de riesgo	14
1.4 Irregularidad en la ocupación del uso de suelo.....	14
1.5 Vulnerabilidad	15
1.6 Clasificación del suelo	15
1.7 Riesgo.....	15
1.8 Medio ambiente y su protección	16
1.9 Crecimiento urbano	16
1.10 Habitabilidad	16
1.11 Aptitud.....	17
1.12 Importancia de la información geográfica	17
1.13 Imágenes Satelitales	17
Capítulo II. Metodología	19
2.1 Clasificación de los usos de suelo	20
2.2 Cambio de cobertura y uso de suelo	22
2.3 Conjuntos habitacionales: Evolución de las autorizaciones	23
2.4 Variables de entrada para la evaluación multicriterio.....	24
2.5 Restricciones, área de salvaguarda y riesgos.	25
2.5.1 Derecho de vía:	25
2.5.1 Áreas de salvaguarda.....	25
2.6 Normalización de las variables de entrada e integración de restricciones	26
2.6.1 Normalización de las variables.....	27
2.6.2 Restricciones	35
2.7 Selección y ponderación de los criterios.....	37
2.8 Regla de decisión.....	38

Capítulo III. Resultados	40
3.1 Análisis histórico de cambio	40
3.2 Distribución actual	42
3.3 Aptitud para el desarrollo de nuevos conjuntos habitacionales.....	45
Conclusiones	51
Bibliografía.....	53

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación del suelo	21
Tabla 2. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferente fecha.....	23
Tabla 3. Insumos.....	24
Tabla 4. Requerimientos principales.....	24
Tabla 5. Restricciones, área de salvaguarda y riesgos.....	25
Tabla 6. Ponderación de pendiente.....	27
Tabla 7. Ponderación de geología.....	28
Tabla 8. Asignación de peso	28
Tabla 9. Ponderación de edafología.....	29
Tabla 10. Asignación de peso.....	29
Tabla 11. Ponderación de uso actual	30
Tabla 12. Asignación de peso	30
Tabla 13. Criterios de accesibilidad a equipamiento.....	34
Tabla 14. Nivel de importancia de criterios.....	37
Tabla 15. Categorías de orden.....	39
Tabla 16. Matriz de cambios 2000 - 2018.....	40
Tabla 17. Transiciones ocurridas en 2000 a 2018.....	41
Tabla 18. Conjuntos urbanos autorizados y total de viviendas por municipios de 2001-2019.....	43
Tabla 19. Cuantificación de categorías por municipio.....	48
Tabla 20. Situación actual de los conjuntos urbanos de la ZMT.....	49

Índice de figuras

Figura 1. Esquema metodológico.....	19
Figura 2. Uso de suelo 2000 y 2018 de la Zona Metropolitana de Toluca	21
Figura 3. Ejemplo de proceso fuzzy y matriz de comparación.....	26
Figura 4. Normalización de pendiente.....	27
Figura 5. Normalización de geología.....	28
Figura 6. Normalización: Geología	29
Figura 7. Normalización: Uso	30
Figura 8. Distance: Vialidad	31
Figura 9. Normalización: Vialidad.....	31
Figura 10. Distance: Urbana	32
Figura 11. Normalización urbana	32
Figura 12. Distance: Pozos	33
Figura 13. Normalización urbana	33
Figura 14. Accesibilidad: Escuelas, Hospitales, Centros de salud.....	34
Figura 15. Normalización Escuelas, Hospitales, Centros de salud	34
Figura 16. Restricciones	35
Figura 17. Integración de restricciones	36
Figura 18. Evaluación multicriterio	38
Figura 19. Resultado de Evaluación Multicriterio.....	39
Figura 20. Evolución de las autorizaciones de conjuntos urbanos, 2000-2019.....	42

Índice de mapas

Mapa 1. Permanencia y ganancia urbana.....	41
Mapa 2. Zonas óptimas para nuevos conjuntos habitacionales	47
Mapa 3. Situación actual de los conjuntos urbanos de la ZMT.	50

Índice de gráficas

Gráfica 1. Número de conjuntos urbanos por municipio	44
Gráfica 2. Número de viviendas por municipio.	45

Introducción

El crecimiento de las ciudades provoca grandes efectos en sus regiones circundantes. Las complicaciones en los cambios de uso de suelos, creadas por expansión rápida y no regulada, causan simultáneamente ineficiencia administrativa y perjuicios al medio ambiente. Sin embargo, una acertada planificación basada en la forma en la que se ocupa el territorio, reduce los conflictos de uso de suelo y organiza la expansión urbana, minimizando los efectos sobre el medio ambiente (García Estarrón, 2008) .

A principios del 2000 la zona metropolitana de Toluca desarrolla un fenómeno de conurbación y metropolización, es decir, es el inicio de nuevas formas de uso del espacio basadas en actividades de producción habitacional en el esquema de conjuntos urbanos, las cuales dan evidencia de nuevas formas de apropiación de áreas productivas localizados en las periferias donde el suelo barato es más adquirido por los desarrolladores.

En México, la política de vivienda previa al año 2012 incentivo la producción masiva de vivienda nueva sin considerar criterios fundamentales como la ubicación ni la densidad. Esto propició que un gran número de desarrollos habitacionales se ubicaran en suelos no urbanizado y con baja densidad de vivienda, causando importantes pérdidas de áreas de valor ambiental, contribuyendo a la expansión de las ciudades y provocando una marcada dispersión y segregación urbana (CONAVI, 2016).

Actualmente acceder a una vivienda de precio accesible sólo es posible en la periferia, pero no siempre fue así. Durante la década de los cuarenta, bajo la protección de un gobierno modernizador, y los frutos del desarrollo industrial, se desarrolló un estado benefactor que lanzo programas de mejora para la calidad de vida, particularmente en la ciudad. En este periodo surgen los primeros programas de dotación habitacional a través de créditos tanto para la construcción de la vivienda propia, como para la adquisición de departamentos a créditos en conjuntos habitacionales (Arango Miranda, 2013).

En este sentido, para tener un panorama más amplio, en el presente proyecto se expone la evolución de los conjuntos urbanos de la zona metropolitana de Toluca obtenidos de la base de datos de la secretaria de desarrollo urbano y metropolitano, al mismo tiempo, se analiza la expansión de la mancha urbana considerando dos periodos 2000 y 2018 describiendo el proceso desordenado y disperso que este presenta.

Para proponer el control de la expansión desordenada, es necesario identificar áreas idóneas para desarrollar nuevos conjuntos habitacionales, esto se realiza considerando la técnica de evaluación multicriterio; es necesario en primer lugar conocer los criterios principales que determinan la idoneidad para el desarrollo de conjuntos, posteriormente, haciendo uso del método de comparación por pares de Saaty se asignan pesos de importancia o prioridades a los criterios usando una escala de medida, consecutivamente, se trabaja con el método de suma lineal ponderada, dicho método elige y combina los criterios esto para obtener un nivel de adecuación de cada alternativa y finalmente se clasifican los valores de adecuación con base a una categoría de orden que refleja si un suelo es óptimo o no para un uso concreto. El mismo modelo sirve para evaluar la situación actual de los conjuntos, es decir evaluar en qué nivel de categoría se encuentran los conjuntos.

Objetivos

Objetivo general

Realizar un análisis espacial de la zona metropolitana de Toluca, para determinar la localización óptima de nuevos conjuntos habitacionales haciendo uso de técnicas multicriterio y SIG

Objetivos específicos

- Describir la dinámica y patrones espaciales de la expansión urbana del período 2000 - 2018.
- Conocer el impacto que tienen los nuevos conjuntos habitacionales en el uso del suelo.
- Ubicar las zonas más óptimas para nuevos conjuntos habitacionales.

Planteamiento del problema

El crecimiento de las ciudades más allá de sus límites tradicionales, es un proceso que se ha acelerado recientemente, conduciendo a la formación de ciudades extendidas en contraposición de las ciudades compactas. Este hecho ha ocurrido, en la mayoría de los casos, de manera espontánea y anárquica, y a veces sin planificación alguna, provocando el agotamiento de la capacidad de soporte de las ciudades y la ocupación de las tierras no aptas para la urbanización, agotando incluso el recurso suelo, útil para el sustento de generaciones futuras (Molina, Martínez, & otros, 2013).

Este escenario urbano implica unas rápidas transformaciones de las estructuras económicas y urbanísticas, así como un aumento en la complejidad y la gestión y diseño de infraestructuras y servicios. Adicionalmente, en los países en vía de desarrollo se presentan crecimientos urbanos no planificados, con condiciones de bienestar precario, ausencia de varios servicios básicos y de equipamientos y, en mucho de los casos, las viviendas precarias han invadido zonas de riesgo natural, agravando el problema (A. Figueroa, 1993).

El proceso de expansión de las ciudades, trae consigo demanda de viviendas. Actualmente el nuevo modelo de urbanización es controlado por inmobiliarias, enfocándose en la adquisición de suelo, para la construcción de conjuntos habitacionales a bajo costo.

Las acciones de estas empresas inmobiliarias se concretan en grandes desarrollos habitacionales localizados en las periferias de las ciudades, donde existe mayor disponibilidad de suelo barato, pero que no vienen acompañados de grandes obras de infraestructura vial y rutas de transporte para satisfacer las necesidades de la población, sin embargo, tienen una influencia determinante en el proceso de la expansión urbana (Esquivel, 2006).

La ZMT ha sido sujeta a un proceso de crecimiento y expansión urbana, caracterizado por el desarrollo de viviendas a través de conjunto urbano habitacional; el modelo de planeación, control y regulación de la ocupación del territorio promovida por los planes municipales de desarrollo urbano, ha repercutido

en una gran inversión por parte de iniciativa privada para desarrollar conjuntos urbanos habitacionales (Jiménez Sánchez, Calderón Maya, & Campos Alanís, 2015).

Justificación

Las actividades antrópicas suelen tener efectos adversos dentro del territorio en el que se desarrollan. Estos efectos incluyen el deterioro de los suelos, contaminación de aire y agua, el agotamiento de los recursos naturales, entre otros (SEMARNAT, INE, 2000).

Este tipo de proyectos como lo menciona (Limón Acosta, 2013) permite generar nuevas formas para la toma de decisiones a partir de análisis de información geográfica y no, solo hacerlo de una manera general, sino, tener un análisis para determinar las zonas más óptimas para el uso urbano hacia futuro, esto para evitar los problemas que en la actualidad se presentan.

Los Sistemas de información geográfica (SIG) aparecen como nuevas tecnologías, la cual puede representar grandes beneficios en diversas actividades de manejo urbano (A. Figueroa, 1993).

Los sistemas de información geográfica (SIG) han venido evolucionando; hoy apoyándose en otras técnicas como el análisis multicriterio para el análisis espacial, son herramientas informáticas diseñadas para el manejo, gestión, análisis representación y modelado de los fenómenos territoriales. En otras palabras, cualquier fenómeno que se pueda situar en el espacio puede, en principio, ser manejada estos instrumentos.

Podemos decir que las técnicas de evaluación multicriterio (EMC) han demostrado sobradamente su eficiencia a la hora de diseñar modelos óptimos territoriales, ya que consideran la adecuación y aptitud que presenta el territorio para que sobre el de desarrolle una determinada actividad (residencial, industrial, comercial). Pese a esto, no han sido utilizadas como tales en la simulación de diferentes escenarios de futuros desarrollos urbanos, por lo que su aplicación en este campo merece ser estudiado. Plata 2010, citado por (Limón Acosta, 2013).

Capítulo I. Fundamentos teóricos conceptuales.

El presente capítulo presenta una visión general de los aspectos fundamentales de la evaluación multicriterio, además de algunas definiciones sobre los fenómenos que generan la expansión urbana.

1.1 Los SIG y el análisis espacial multicriterio.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son herramientas informáticas diseñadas para el manejo, gestión, análisis, representación y modelado de los fenómenos territoriales. Es decir, cualquier tema que se pueda situar en un conjunto de lugares del espacio geográfico puede, en principio, ser manejada con estos instrumentos. (Bosque Sendra, 2006).

El Sistema de Información Geográfica, es un sistema computarizado que facilita la fase de entrada, análisis y presentación de datos especialmente cuando trabajamos con datos geo-referenciados. Esto quiere decir que el usuario del SIG espera apoyo del sistema para ingresar datos (geo-referenciados), para analizarlos de varias formas y generar presentaciones (mapas y otros) a partir de los datos.

Varias formas de funcionalidad deben ser incluidas: varios de tipos de sistemas de coordenadas y transformaciones entre ellas, varias formas de “calculos” con datos geo-referenciados y obviamente un amplio grado de libertad en selección de parámetros de presentación como esquema de color símbolos, medios, etc. (Rolf, 2003).

1.2 Evaluación Multicriterio

El procedimiento por el cual se eligen y combinan los criterios para llegar a una evaluación particular, y por el cual las evaluaciones son comparadas y aplicadas se conoce como una regla de decisión. Una regla de decisión puede ser tan simple como un umbral aplicado a un solo criterio o puede ser tan compleja como una que incluye la comparación de varias evaluaciones multicriterio. Esto implica que los resultados del análisis dependen no solo de una distribución geográfica de eventos

geográficos (atributos) sino que también de los juicios de valores implicados en el proceso de toma de decisiones (Garcés Ortega, S/F).

Los SIG y el Análisis Multicriterio son herramientas que pueden apoyar a los tomadores de decisiones logrando mayor efectividad y eficacia en el proceso de toma de decisión espacial. “La combinación de métodos de Evaluación Multicriterio y el Análisis Espacial hace referencia a la Evaluación Espacial Multicriterio”, que es un importante método de producir información pertinente sobre los problemas de decisión espaciales a tomadores de decisiones.

1.3 Crecimiento urbano y análisis de riesgo

La urbanización no tiene necesariamente que aumentar el riesgo, si se organiza adecuadamente, más bien, puede contribuir a reducirlos. Sin embargo, ciertas características claves del proceso de urbanización pueden contribuir directamente a configurar el riesgo. Cuando las ciudades se encuentran en lugares peligrosos, aumentan rápidamente el número de personas expuestas a las amenazas. Está claro que la propia exposición física no explica el aumento del riesgo ni conduce automáticamente en ellos, si el crecimiento urbano en lugares propensos a amenazas se acompaña con normas adecuadas de construcción y una buena planificación urbana, el riesgo de desastre puede controlarse e incluso reducirse. (Maskrey, 1998).

La identificación del peligro (amenaza), el análisis de las vulnerabilidades y el cálculo del riesgo son elementos fundamentales para la evaluación de riesgo, y ser tomadas en cuenta en diferentes temas, tales como la planificación de nuevas áreas para ser urbanizadas.

1.4 Irregularidad en la ocupación del uso de suelo

Se puede decir que la irregularidad en una manifestación de los procesos normales del crecimiento urbano de la ciudad, bajo condiciones excepcionales de muy rápida urbanización, además de una estrategia de supervivencia que desarrollan los grupos excluidos dentro de los procesos de producción y el consumo de la propia

ciudad y así asegura la subsistencia en condiciones extremadamente adversas, debido al mercado inmobiliario que no ofrece ninguna alternativa (Gopar Chávez, 2004).

1.5 Vulnerabilidad

Se define como el grado de resistencia y exposición física y/o social de un elemento o conjunto de elementos (vidas humanas patrimonio, servicios vitales, infraestructura, áreas agrícolas y otros), como resultado de la ocurrencia de un fenómeno actuante como amenaza (Natural o inducido por el hombre) de una magnitud dada (Van Westen 2007 citado por (Daga López, 2009).

La vulnerabilidad puede variar debido a un conjunto de condiciones y/o procesos que resultan de los factores de orden natural, físico económico, social, científico y tecnológico, político, cultural, educativo ecológico, ideológico e institucional. Estos factores varían con el tiempo. Para lo cual, dado un nivel de peligro, se debe vigilar los cambios ocasionados en los elementos expuestos. (INDECI, 2007 citado por (Daga López, 2009)

1.6 Clasificación del suelo

El suelo representa una serie de características físicas y potenciales, permitiendo varios tipos: entre ellos está el suelo en breña u el suelo urbano. Se le llama suelo en breña a aquellas zonas del territorio que no cuentan con las condiciones básicas de infraestructura para poder llevar a cabo la implantación de construcciones y realizar actividades que vayan más allá de las actividades primarias. Por otro lado, el suelo urbano se entiende como el área sufriendo en grado de superficie el proceso de transformación rural-urbano a través del tiempo (Pacheco Juárez, 2013).

1.7 Riesgo

El término riesgo se refiere a las pérdidas esperadas a causa de una amenaza determinada en un elemento en riesgo, durante un período específico en el futuro. Según la manera en que se defina el elemento en riesgo, el riesgo puede medirse

según la pérdida económica esperada, o según el número de vidas perdidas o la extensión del daño físico a la propiedad (Daga López, 2009).

1.8 Medio ambiente y su protección

Según las Naciones Unidas (ONU, 2002 citado por (Daga López, 2009), el medio ambiente es el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas. Una visión económica o productiva considera el medio ambiente como una fuente de recursos, un soporte de actividades productivas, un lugar donde depositar los desechos, etc.

1.9 Crecimiento urbano

Según (Collazos , 2005), el crecimiento urbano es el incremento de la mancha urbana en zonas periféricas de una ciudad, las cuales cambian su uso para el establecimiento de nuevos asentamientos.

La urbanización; se define como el proceso de transformación rural-urbano, este proceso puede deberse a varias causas, una de ellas es la migración de la población asentada en áreas rurales a las ciudades.

1.10 Habitabilidad

La habitabilidad hace referencia a la calidad de vida y satisfacción de las necesidades principalmente, aunque no exclusivamente, con respecto a las de tipo material que ofrece el medio urbano. Hablamos conjuntamente de la vivienda, los servicios, el espacio público, el saneamiento, entre otros; elementos que permiten condiciones apropiadas de existencia, así como el desarrollo de los potenciales humanos, económicos y productivos de una comunidad. (Gestión urbana para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe Ricardo Jordán - junio de 2003 citado por (Daga López, 2009). planificados y de urbanización espontánea, en la mayoría de los casos, los habitantes viven en condiciones que pueden ser aún peores que las de sus zonas de origen.

1.11 Aptitud

Considerado uno de los aspectos más importantes de la planificación física del territorio es la designación de sitios aptos para un apropiado uso del suelo, la selección de sitios aptos para un determinado uso del suelo debe estar basado en un conjunto de criterios locales, para asegurar que la tasa máxima de costo-beneficio sea óptima para la comunidad. Las diversas características de un sitio (uso del suelo, pendiente, disponibilidad de agua, distancia al trabajo, etc.), influye en la aptitud para un uso específico del territorio. Un sistema de valores y ponderación se puede aplicar a los diversos aspectos de la aptitud, para establecer la aptitud total de un uso de suelo específico.

1.12 Importancia de la información geográfica

En los estudios de planificación territorio, la Información Geográfica y formulación de los modelos con el uso de los Sistemas de Información Geográfica han venido evolucionando; hoy apoyándose en otras técnicas como el análisis multicriterio. La teoría de la decisión y los métodos de evaluación multicriterio que ella concierne no están completamente desarrollados en el campo de los SIG, lo cual produce ciertas diferencias en cuanto a la terminología empleada para definir los elementos pertenecientes a dichos métodos.

1.13 Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales es la información recogida por los satélites que se encuentran orbitando la tierra. Su interpretación está en relación entre la respuesta espectral y las entidades presentes en el suelo, por lo que es complicada por el hecho de que las celdas de la imagen (píxeles), que pueden variar en el rango de menores a 1 m a 1 Km de tamaño dependiendo de la fuente de datos utilizada, son heterogéneas y pueden contener una mezcla de fenómenos o clases distintas. Las respuestas espectrales individuales de las entidades dentro de una celda se promedian entre sí para dar el valor final de la celda. Los métodos de teledetección son eficaces cuando el fenómeno, o las clases de fenómeno, cubren áreas mayores que el tamaño del píxel.

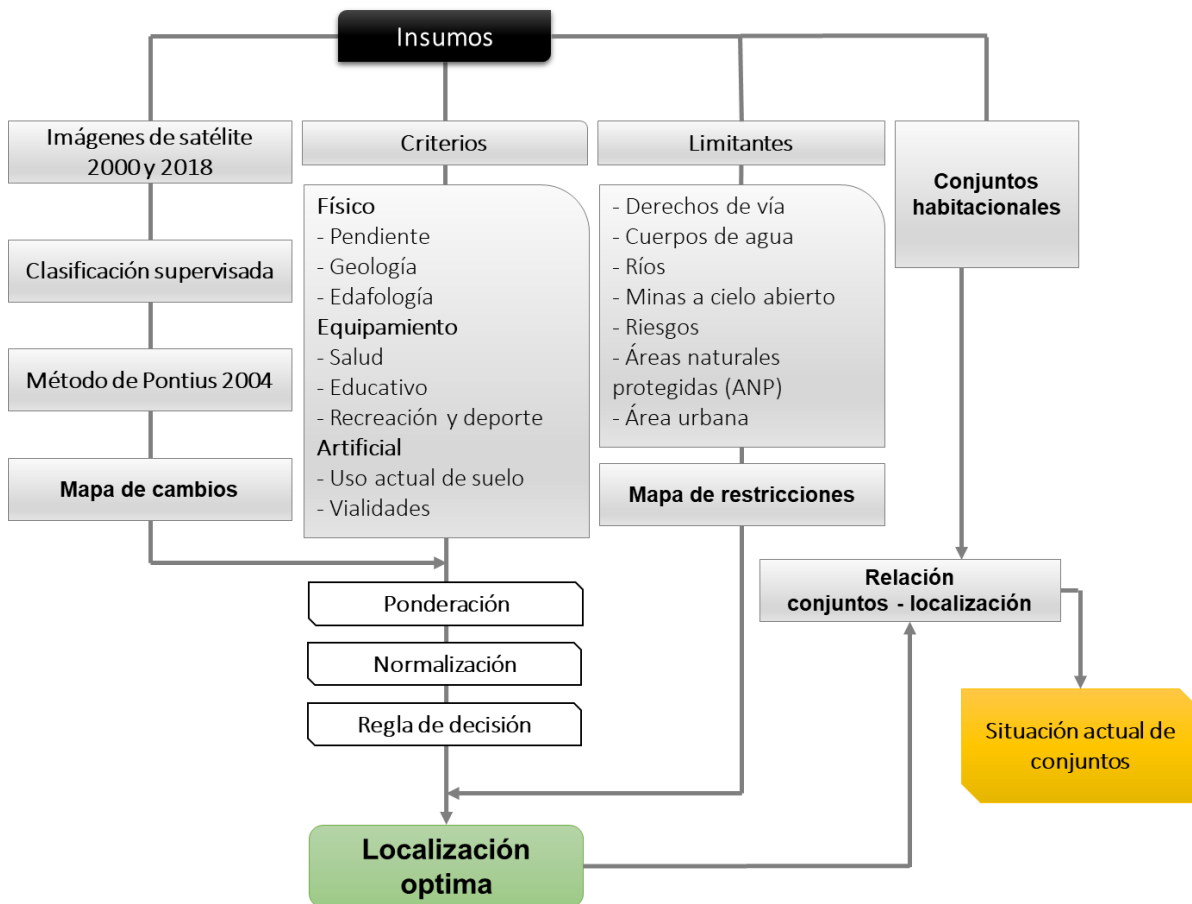
Por todo esto, los datos espectrales han de ser realzados, filtrados e incluso corregidos geoméricamente mediante técnicas de procesado de imágenes antes de su integración en el SIG. Hoy en día su uso ha trasladado a las fotografías aéreas a un segundo lugar, dependiendo de los objetivos del trabajo a realizar, el área de estudio y el presupuesto disponible.

Capítulo II. Metodología

La presente metodología integra métodos de evaluación multicriterio (EMC) y Sistema de información geográfica (SIG), como una herramienta de apoyo para realizar procesos y toma de decisiones, a nivel espacial y para el uso de suelo.

El principal objetivo de este trabajo, es determinar zonas óptimas para el asentamiento de nuevos conjuntos habitacionales además de evaluar la continuación y la situación de los conjuntos existentes. Ver figura 1.

Figura 1. Esquema metodológico.



Fuente: Elaboración propia

2.1 Clasificación de los usos de suelo

Para describir la dinámica de la expansión urbana y el incremento de conjuntos habitacionales, fue necesario clasificar las principales coberturas de la zona metropolitana de dos tiempos (2000 y 2018), debido a que instituciones como INEGI no disponen de coberturas de suelo actualizadas, es por ello, que para la clasificación de coberturas se retoma la Guía Metodológica para la Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano 2017 de SEDATU, SEMARNAT.

La información requerida para este tipo de estudios es de gran importancia ya que determina la calidad de los resultados. La información de partida es mediante la adquisición de imágenes de satélite (Landsat7 y Landsat8 a 30 metros de resolución) obtenidas del Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey) de dos periodos de tiempo. A estas imágenes se les genera un pretratamiento (corrección radiometría, corrección atmosférica) de acuerdo al objetivo de este proyecto, además, de algunas adecuaciones a las imágenes y para la obtención de los usos de suelos se genera una metodología semi-automática basada en una clasificación supervisada para la detección de zonas urbanas sobre imágenes Landsat a 30m.

Es reconocido que existen dos enfoques para la clasificación de coberturas de suelo: a través de la fotointerpretación y digitalización en pantalla o por el reconocimiento automático y agrupamiento (clustering) de valores de reflectancia similares y específicos para conjuntos de píxeles que componen una misma clase de cobertura; este segundo enfoque es el que garantiza mejores resultados.

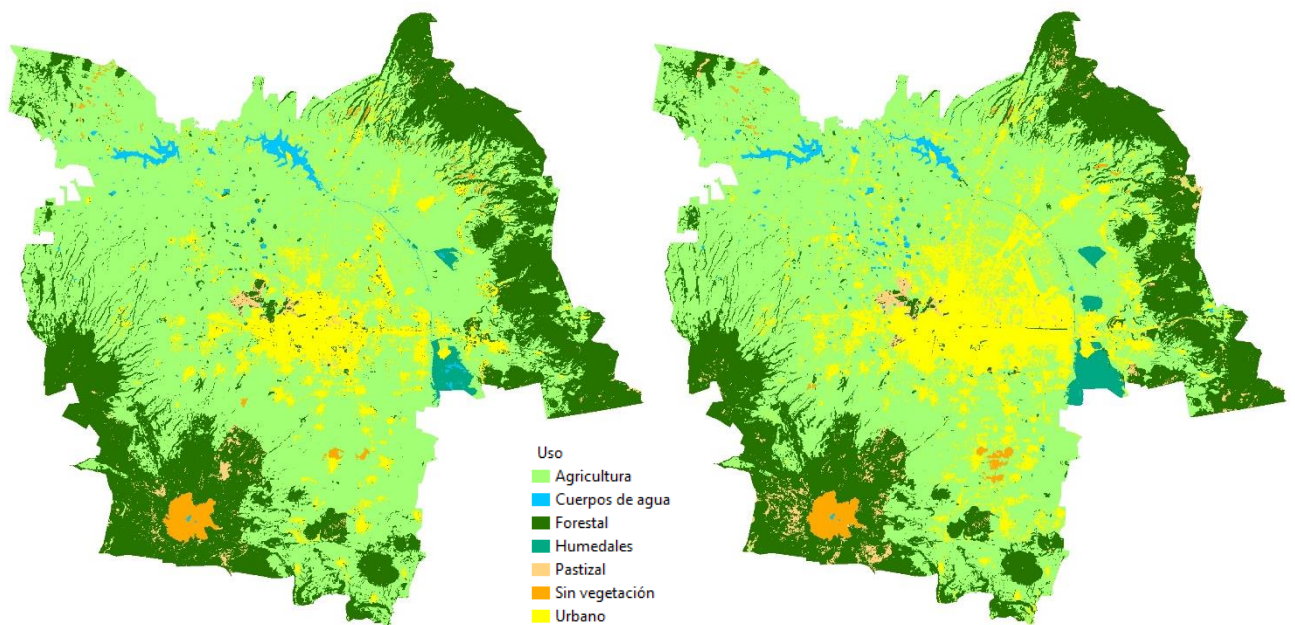
Par la realización de los escenarios se debe trabajar una clasificación de uso de suelo específica, debido a la dificultad de representar la dinámica de una gran variedad categórica de uso de suelo por lo que se decide solo obtener la siguiente clasificación. Ver tabla 1 y figura 2.

Tabla 1. Clasificación del suelo

No.	Clase	Descripción
1	Forestal, Humedales	Las áreas forestales/naturales proporcionan información sobre la zona generalmente no afectadas por la intervención humana, sean esas superficies arboladas o superficies secas.
2	Agricultura	Identifica las actividades agrícolas y los usos dirigidos principalmente a la producción de alimentos.
3	Pastizal	Comunidades herbáceas en las que predominan las especies gramíneas y graminoides para uso pecuario
4	Urbano	Comprende todas aquellas superficies con gran parte de cobertura ocupada por estructuras edificadas.
5	Cuerpos de agua	Comprende masas de agua abiertas como lagos, embalses y ríos.

Fuente: Guía Metodológica para la Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano, 2017.

Figura 2. Uso de suelo 2000 y 2018 de la Zona Metropolitana de Toluca



Fuente: Elaboración propia.

2.2 Cambio de cobertura y uso de suelo

Una vez preparada la información cartográfica espacio-temporal se procedió a realizar los cambios de uso mediante la metodología desarrollada por (Pontius, Shusas, & McEachern, 2004), la cual permite obtener para cada categoría de uso de suelo las ganancias y las pérdidas, el cambio neto y los intercambios experimentados entre dos momentos temporales. Asimismo, permite valorar el cambio total tomado como referencia las persistencias y así poder evaluar las transiciones más significativas de las categorías.

El resultado de la matriz de tabulación cruzada tradicional o matriz de transición (comúnmente denominado matriz de cambios) resultado de cruzar dos mapas de uso de dos tiempos diferentes para este caso 2000 y 2018.

En la siguiente matriz donde se muestran las filas como las categorías del mapa del tiempo 1 (T₁) y las columnas muestran las categorías del tiempo 2 (T₂), Así mismo la diagonal principal muestra la persistencia entre T₁ y T₂, mientras que los elementos fuera de la diagonal principal dan cuenta de las transiciones ocurridas entre T₁ y T₂ para cada categoría. En la fila 6 se recogen el total de cada categoría en T₂, mientras que la columna 6 se recogen el total de cada categoría del tiempo 2. Es usual que una tabla de transición termine aquí, sin embargo, por necesidad de analizar a detalle los cambios se muestran una columna y fila adicional.

La columna adicional a la derecha indica la proporción del paisaje que experimenta una pérdida bruta de las categorías entre el T₁ y T₂. La fila adicional en la parte inferior indica la proporción del paisaje ganancia bruta de las categorías entre el T₁ y T₂. Las ganancias expresadas como la diferencia de las sumas totales de la fila 6 y los valores de la diagonal principal. Las pérdidas expresadas como la diferencia de la suma total de la columna 6 y los valores de la diagonal principal. Ver tabla 2.

Tabla 2. Matriz de tabulación cruzada para dos mapas de diferente fecha.

Tiempo 1	Tiempo 2					6	7
	1	2	3	4	5		
1		Clase 1	Clase 2	.....	Clase n	<i>Total T₁</i>	<i>Pérdidas (L_{ij})</i>
2	<i>Clase 1</i>	P_{11}	P_{12}	.....	P_{1n}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
3	<i>Clase 2</i>	P_{21}	P_{22}	.....	P_{2n}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	<i>Clase n</i>	P_{n1}	P_{n2}	.....	P_{nn}	P_{n+}	$P_{n+} - P_{nn}$
6	<i>Total T₂</i>	P_{+1}	P_{+2}	.....	P_{+n}	P	
7	<i>Ganancias (G_{ij})</i>	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	.....	$P_{+n} - P_{nn}$		

Fuente: Pontius *et al.*, 2004.

Una vez obtenida la matriz de tabulación cruzada, es posible calcular una serie de parámetros de importancia en el análisis de los cambios de usos de suelo y así, realizar una descripción sobre el cambio, crecimiento y de consumo de suelo en dos períodos de tiempo 2000 y 2018, permitiendo obtener resultados que reflejan de forma fidedigna y precisa la situación actual.

El objetivo de este apartado es conocer la dimensión de la dinámica urbana, la dirección de expansión y áreas con pérdidas a consecuencia de nuevos asentamientos.

2.3 Conjuntos habitacionales: Evolución de las autorizaciones

Para caracterizar la ocupación de conjuntos habitacionales en la Zona Metropolitana de Toluca, se consulta el portal de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Metropolitano del Gobierno del Estado de México, dicho portal, concentra una base de datos de conjuntos urbanos autorizados a partir del año de 1999 a la fecha, con el fin de obtener la localización espacial de dichos conjuntos.

2.4 Variables de entrada para la evaluación multicriterio.

Para la selección de los datos espaciales o capas, se realizó una revisión bibliográfica, así como, la consulta de expertos en la materia para conocer las características adecuadas para la localización óptima de conjuntos habitacionales.

Tabla 3. Insumos

Criterios	Variable
Físico	Pendiente
	Geología
	Edafología
Artificial	Uso de suelo y vegetación actual
	Vialidades
	Pozos
Equipamiento	Salud
	Educativo
Restricciones	Áreas naturales protegidas
	Derecho de vía
	Hidrología
	Minas
	Rellenos sanitarios
	Riesgo por inundación
	Riesgo químico
Riesgo sanitario	

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP).

Los criterios descritos en el cuadro anterior son útiles para determinar las zonas óptimas para conjuntos habitacionales, Ver tabla 3. La siguiente tabla muestra los requerimientos principales, es decir, las características que deben de cumplir cada una de las variables para determinar una zona óptima en la localización de conjuntos habitacionales. Ver tabla 4.

Tabla 4. Requerimientos principales

Criterios	Requerimientos	Fuente
Pendiente	0° – 20°	Plan de desarrollo municipal
Geología	Toba, Basalto	
Edafología	Feozem, Cambisol, Litosol	
Uso de suelo	Áreas sin vegetación, Pastizal	Comisión nacional de vivienda (CONAVI)
Vialidades	Cercanía 0.5 a 1.5 km	
Pozos	Disponibilidad de agua	
Urbano	Cercanía al centro urbano 2 km	
Salud	Cercanía a 2.5 km y 5.0 km	
Educativo	Cercanía a 2.5 km	

Fuente: Planes de desarrollo municipal, Comisión nacional de vivienda (CONAVI)

2.5 Restricciones, área de salvaguarda y riesgos.

Las principales restricciones son:

2.5.1 Derecho de vía: Se comprenderá como la anchura de terreno, de superficie variable, que corresponde a infraestructuras públicas o usos concesionados. Se establece como una franja reservada para desarrollar programas de mantenimiento y ampliación de infraestructura pública.

2.5.1 Áreas de salvaguarda: Comprenden las zonas donde en términos de la legislación aplicable no se permitirán los usos habitacionales, comerciales u otros que pudieran tener riesgos para la población. En términos de la legislación ambiental y en función del tipo de riesgo que generen las actividades a regular, estas zonas se consideran de utilidad pública, por lo que están sujetas a la definición de restricciones y lineamientos para la prevención de riesgos.

La siguiente tabla, determina el área de restricción según normas y leyes federales, además de áreas de salvaguarda y sobre todo de áreas con riegos, donde se limita a realizar este tipo de asentamiento urbano. Ver tabla 5.

Tabla 5. Restricciones, área de salvaguarda y riesgos

Restricciones	
Áreas de protección	Definido la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
Carreteras federales	A partir del eje de simetría (metros) 30, Total 60
Carreteras estatales	A partir del eje de simetría (metros) 20 Total 40
Vías ferroviarias	A partir del eje de simetría (metros) 15 Total 30
Ríos	Área mínima de salvaguarda alrededor del uso de restricción (metros) 10
Cuerpos de agua	Área mínima de salvaguarda alrededor del uso de restricción (metros) 50
Minas	Área mínima de salvaguarda alrededor del uso de restricción (metros) 20
Rellenos sanitarios	Definida por el plan municipal de desarrollo urbano
Áreas inundables	Definida por el plan municipal de desarrollo urbano
Deslizamiento	Definida por el plan municipal de desarrollo urbano
Riesgo químico	Definida por el plan municipal de desarrollo urbano
Deslaves	Definida por el plan municipal de desarrollo urbano

Fuente: Ley de aguas nacionales

Ley de caminos, puentes y autotransporte federal

Planes municipales de desarrollo urbano de la secretaria de desarrollo urbano y metropolitano.

Criterios e indicadores para desarrollos habitacionales sustentables

2.6 Normalización de las variables de entrada e integración de restricciones

Para la homogenización de las diferentes unidades de medida entre las variables, se realizó una normalización a una escala de 0 – 255 para generar factores finales, para ello se aplicó el proceso borroso de Fuzzy de Terrset , (Ver figura 3) que evalúa la posibilidad de que cada píxel pertenezca a un conjunto difuso mediante la evaluación de cualquiera de una serie de funciones de pertenencia a conjuntos difusos, para este caso fue necesario trabajar primero con la variable cuantitativa (pendiente), ya que las variables cualitativas se debe realizar un procedimiento previo de ponderación, a través de método de comparación por pares de Saaty (Ver figura 3) es decir, a cada variable se tiene que determinar la sub variable con alta idoneidad generando así mapas con información cuantitativa.

Figura 3. Ejemplo de proceso fuzzy y matriz de comparación

The image shows a software interface for creating fuzzy membership functions and a pairwise comparison matrix. The dialog box on the left is titled "FUZZY - Fuzzy Set membership function" and includes the following settings:

- Membership Function Type: Sigmoidal (selected), Linear, J-shaped, User defined ...
- Input file: Geologia
- Output file: Geologia_fuzzy
- Output data format: Byte (0 - 255 range)
- Membership Function Shape: Monotonically increasing, Monotonically decreasing (selected), Symmetric
- Control point c: 0
- Control point d: 0.5241
- Title: Geologia_fuzzy

To the right is a pairwise comparison matrix for the variable "Geologia_b". The matrix is a 4x4 grid with values representing the relative importance of elements. The values are: 1, 1/3, 1/5, 1/7 in the first row; 1/3, 1, 1/2, 1/2 in the second row; 1/5, 1/2, 1, 1/2 in the third row; and 1/7, 1/2, 1/2, 1 in the fourth row. The matrix is labeled "Less Important" and "Pairwise comparison file to be saved:".

	1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5
extremely		very strongly	strongly	moderately	equally	moderately	strongly
Less Important							M
Pairwise comparison file to be saved :							
	Geologia_b	Geologia_b	Geologia_b	Geologia_b			
Geologia_b	1						
Geologia_b	1/3	1					
Geologia_b	1/5	1/3	1				
Geologia_b	1/7	1/5	1/2	1			

Fuente: Elaboración propia

2.6.1 Normalización de las variables

Pendiente

Dentro de los factores más importantes a considerar, se encuentra la topografía del terreno, uno de cuyos aspectos principales lo constituye la pendiente del suelo, entendida como la inclinación de la superficie con respecto al plano horizontal.

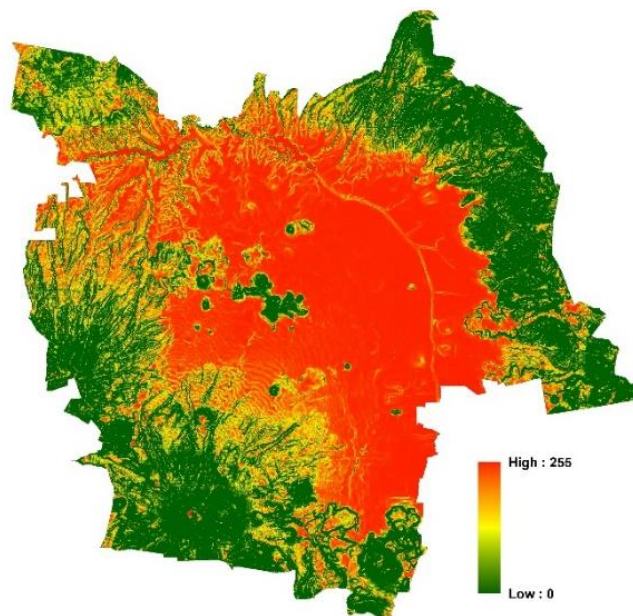
De este modo podemos decir que la pendiente óptima para la autorización de conjuntos habitacionales debe ser según el plan de desarrollo municipal menor a 10° con la finalidad de garantizar que las zonas urbanizables estén ubicadas en sitios topográficamente planas, para disminuir el coste de construcción y, sobre todo, la introducción de servicios básicos. Ver tabla 6 y figura 4.

Tabla 6. Ponderación de pendiente.

Grado de pendiente	Ponderación	Aptitud
$0^\circ - 10^\circ$	1	Alta
$10^\circ - 15^\circ$	2	Media
$15^\circ - 25^\circ$	3	Baja
$>25^\circ$	4	No apta

Fuente: Planes de desarrollo municipal

Figura 4. Normalización de pendiente



Fuente: Elaboración propia

Geología

Este factor es importante, ya que es el sustrato en el que se asientan las edificaciones, la idoneidad de este factor reduce riesgos que puedan afectar a la población. Ver tabla 7, 8 y figura 5.

Tabla 7. Ponderación de geología.

Tipo de roca	Ponderación	Aptitud
Aluvial	1	Alta
Arenisca con conglomerados y toba, Basalto, Toba	2	Media
Andesita	3	Baja
Brecha volcánica, Extrusiva intermedia	4	No apta

Fuente: Planes de desarrollo municipal

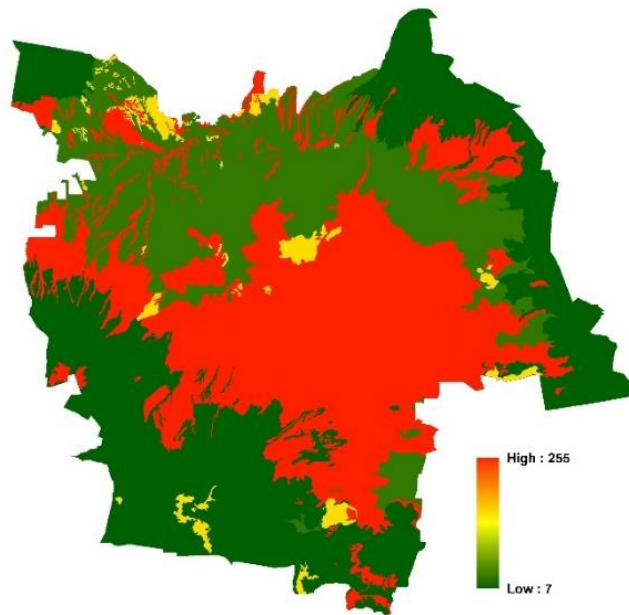
Al ser variable nominal, se debe se realizar un procedimiento previo de ponderación.

Tabla 8. Asignación de peso

Ponderación de Geología	Peso
Alta	0.5241
Media	0.2972
Baja	0.1207
No apta	0.0580

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Normalización de geología



Fuente: Elaboración propia

Edafología

Este factor es conocido por sus diversas características muchas, de ellas positivas y algunas con limitaciones para alguna actividad en específico, sin embargo, es necesario elegir el suelo adecuado para la construcción de conjuntos habitacionales y así minimizar el impacto que se generan en zonas de suelos altamente productivos. Ver tabla 9, 10 y figura 6.

Tabla 9. Ponderación de edafología.

Tipo suelo	Ponderación	Aptitud
Feozem, Cambisol	1	Alta
Planosol, Litosol	2	Media
Vertisol, Luvisol, Fluvisol	3	Baja
Acrisol, Andosol, Regosol	4	No apta

Fuente: Planes de desarrollo municipal

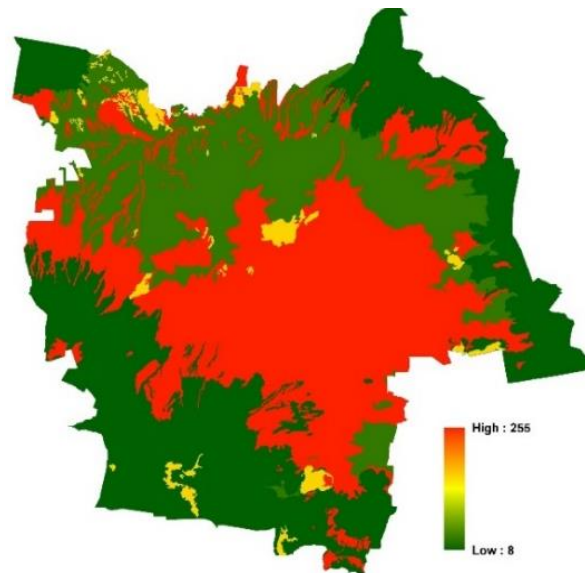
Al ser variable nominal, se debe realizar un procedimiento previo de ponderación.

Tabla 10. Asignación de peso.

Ponderación de Edafología	Peso
Alta	0.5241
Media	0.2972
Baja	0.1207
No apta	0.0580

Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Normalización: Edafología



Fuente: Elaboración propia

Uso actual del suelo

El uso actual del suelo permite conocer las actividades que se presentan en la ZM, la ocupación de la zona urbana. Ver tabla 11, 12 y figura 7.

Tabla 11. Ponderación de uso actual

Uso de suelo	Estandarización	Aptitud
Área sin vegetación, Pastizal	1	Alta
Agricultura	2	Media
Pradera de alta montaña	3	Baja
Forestal, Humedales, Urbano, Cuerpos de agua	4	No apta

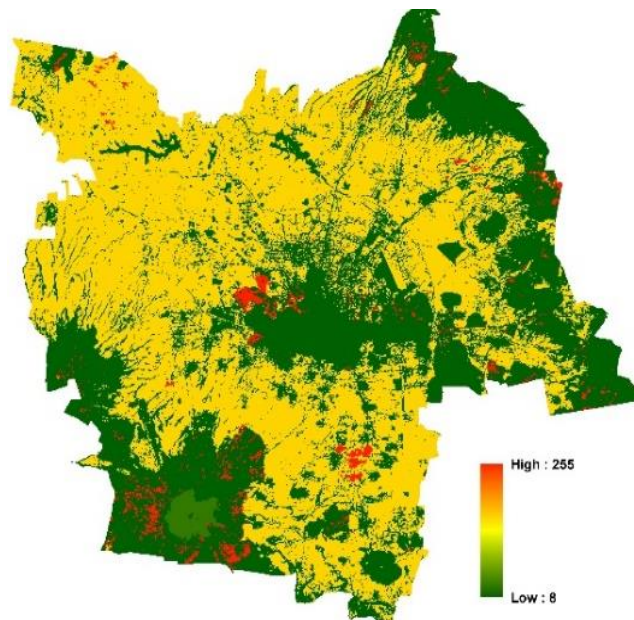
Al ser variable nominal, se debe se realizar un procedimiento previo de ponderación.

Tabla 12. Asignación de peso

Ponderación Uso	Peso
Alta	0.5650
Media	0.2622
Baja	0.1175
No apta	0.0553

Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Normalización: Uso

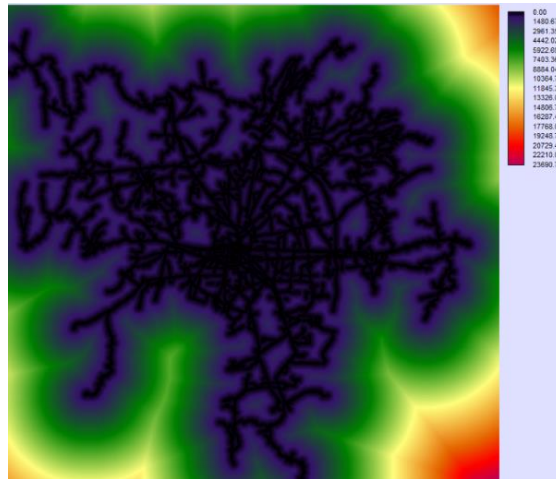


Fuente: Elaboración propia

Accesibilidad

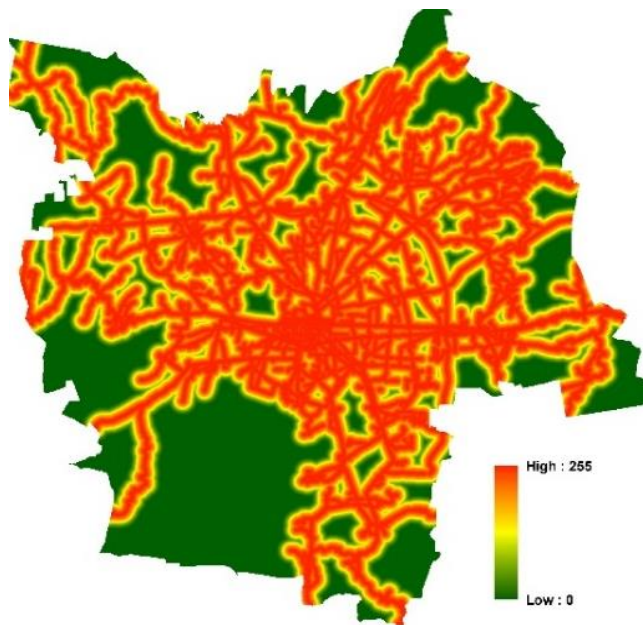
Se promueve la accesibilidad y la movilidad de la población del desarrollo de conjuntos habitacionales a través de la vialidad y sistemas de transporte colectivo. El criterio empleado como distancia recomendable de acuerdo al sistema normativo de equipamiento urbano de SEDESOL es de 0.5 a 1.5 km (CONAVI, 2016). Ver figura 8 y 9.

Figura 8. Distance: Vialidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Normalización: Vialidad

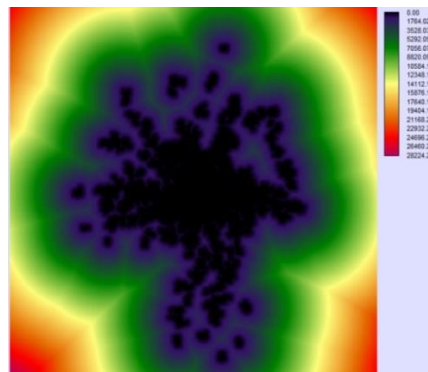


Fuente: Elaboración propia

Integralidad y proximidad a la mancha urbana

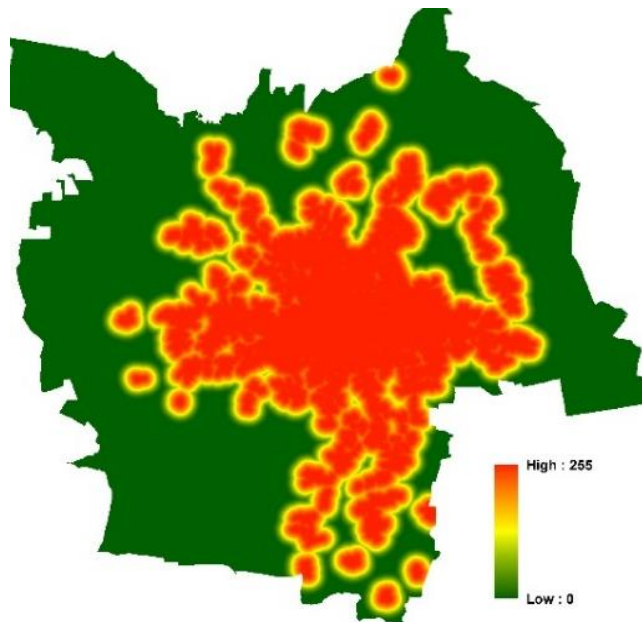
Como menciona la comisión nacional de vivienda (CONAVI), Lo adecuado sería que los conjuntos habitacionales se ubiquen dentro de la mancha urbana, en predios vacíos existentes o predios contiguos a la mancha urbana con uso de suelo habitacional, ocupando intersticios generado por la misma expansión de las ZM, de esta manera se propicia la continuidad con el área urbana existente y un uso más eficiente del suelo, de la infraestructura y del transporte. El criterio empleado como distancia recomendable de acuerdo a la revisión bibliográfica es de 2 km después de la zona urbana consolidada. Ver figura 10 y 11

Figura 10. Distance: Urbana



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Normalización: Urbana

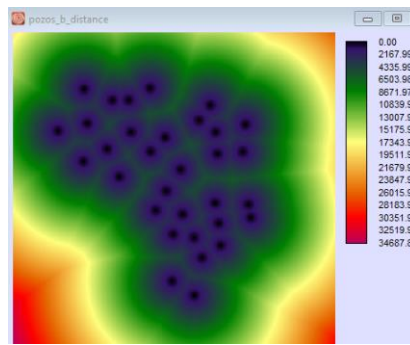


Fuente: Elaboración propia

Accesibilidad a agua potable

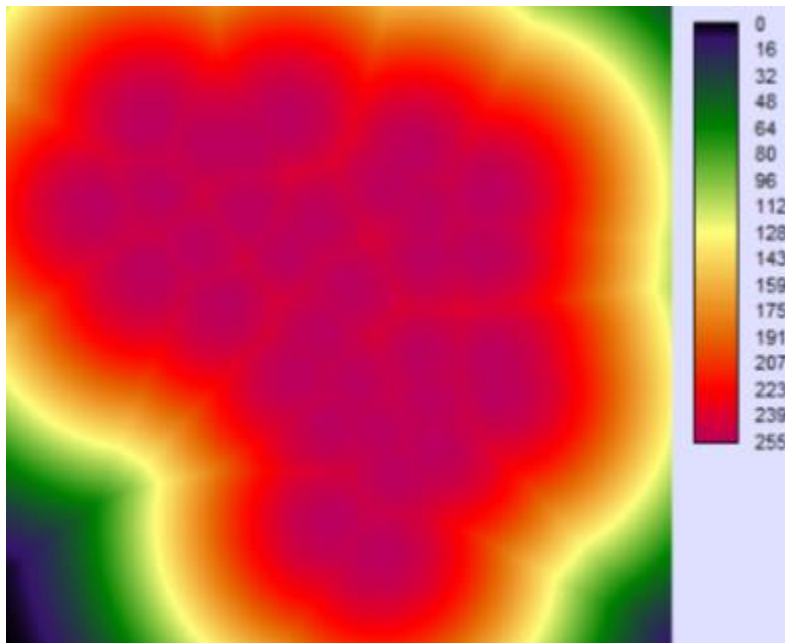
La accesibilidad a agua potable es un criterio que complementa la sustentabilidad de los conjuntos urbanos, establecida en los criterios e indicadores para el desarrollo de conjuntos habitacionales de la comisión nacional de vivienda (CONAVI). Es importante mencionar según el reglamento del libro quinto del código administrativo del estado de México, que la autorización y densidad de los conjuntos estará sujeta a la disponibilidad de agua potable, respetando las normas que al efecto establezca el Plan Municipal de Desarrollo Urbano.

Figura 12. Distance: Pozos



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Normalización: Pozos



Fuente: Elaboración propia

Equipamiento

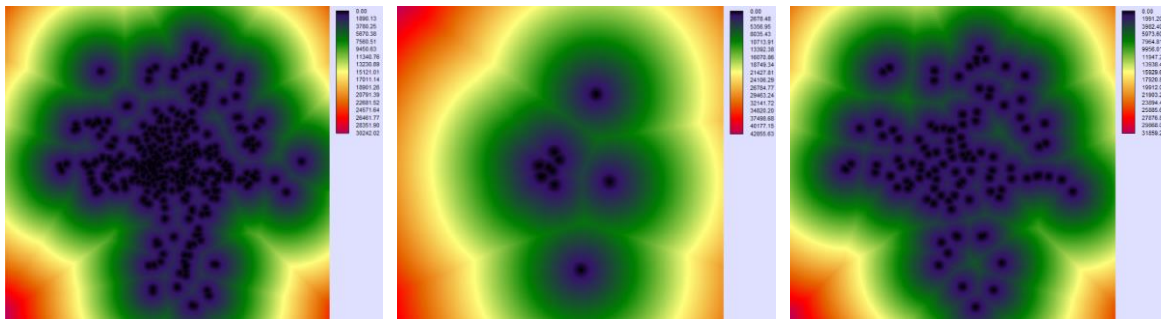
El equipamiento como criterio de sostenibilidad para los conjuntos habitacionales se integra sumando las áreas destinadas para la educación, hospitales y centros de salud. Estos equipamientos deben de estar distribuidos a fin de satisfacer las necesidades de la población. De acuerdo a CONAVI considera los criterios de equipamiento de la siguiente manera. Ver tabla 13, figura 14 y 15.

Tabla 13. Criterios de accesibilidad a equipamiento

Equipamiento	Área en metros
Equipamiento educativo	2500 m
Hospitales	5000 m
Centros de Salud	2500 m

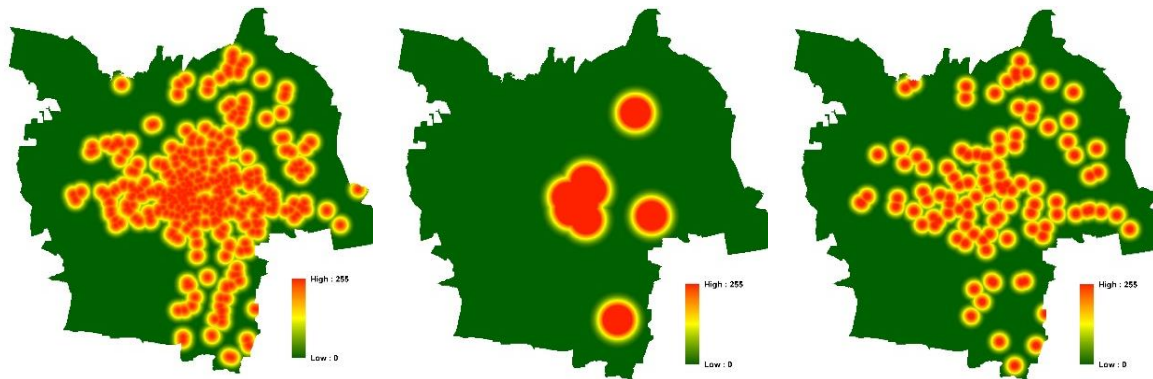
Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Accesibilidad: Escuelas, Hospitales, Centros de salud



Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Normalización Escuelas, Hospitales, Centros de salud

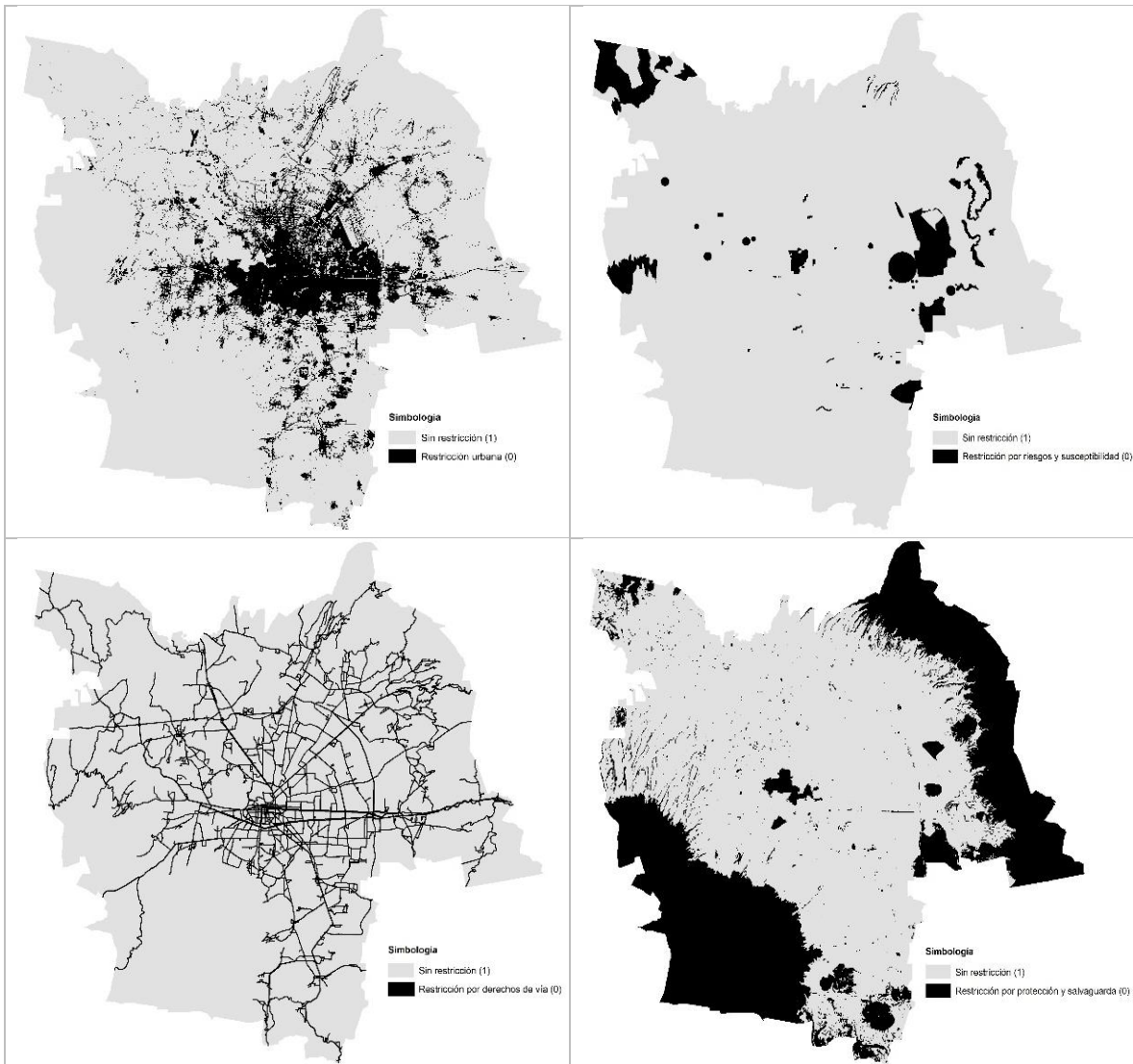


Fuente: Elaboración propia

2.6.2 Restricciones

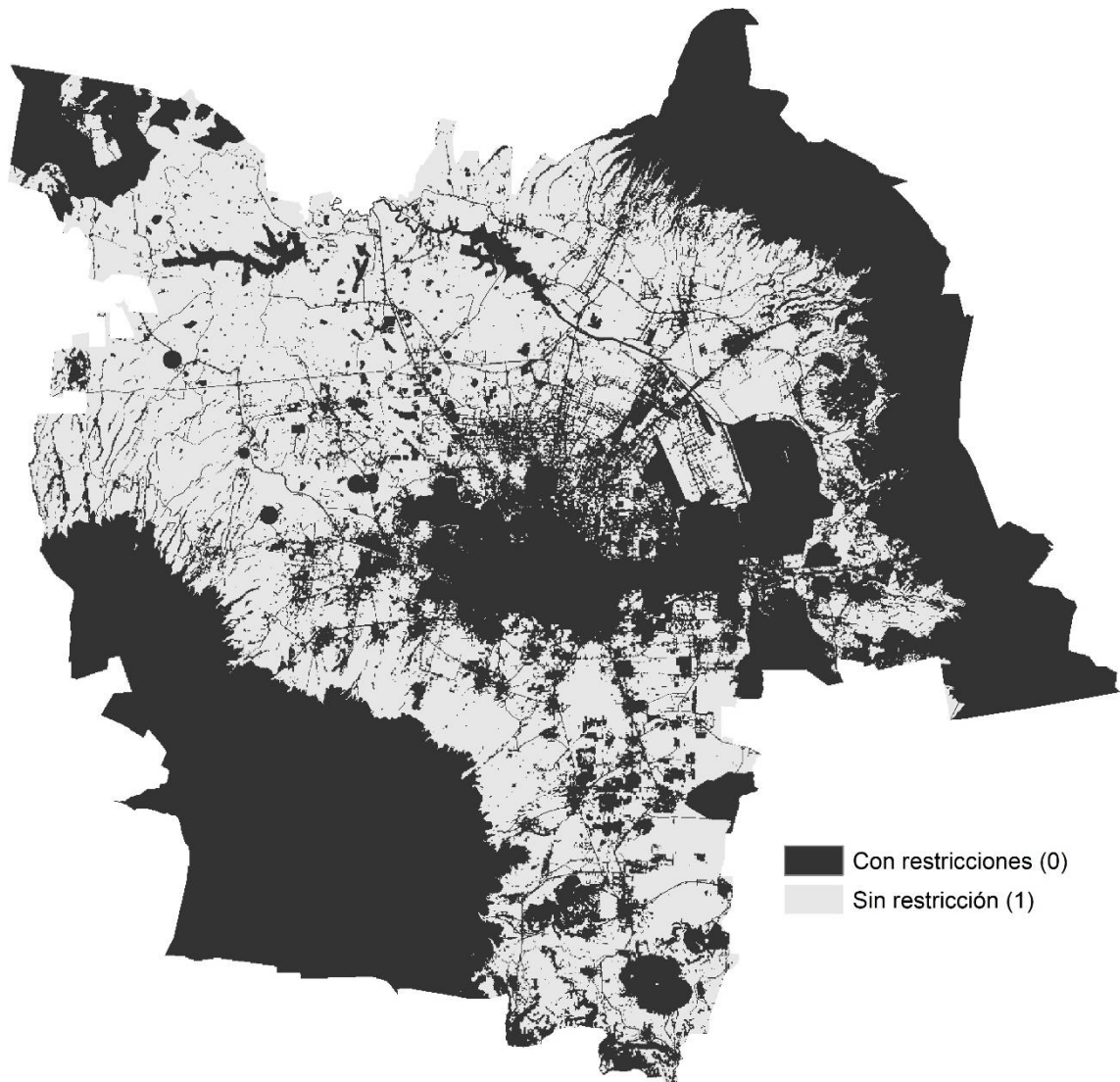
En el caso de las restricciones, es decir donde no se puede hacer la valoración para nuevos conjuntos habitacionales. Se realizan las restricciones en mapas booleanos, es decir 0 donde NO se permite la actividad y 1 donde se permite. En este caso se generan restricciones en todas las vías y derechos de vías de comunicación, en las corrientes y cuerpos de agua, así como en las zonas urbanas, las zonas de bosques, áreas protegidas y sobre todo en zonas que presentan riesgos para la población. Ver figura 16 y 17.

Figura 16. Restricciones



Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Integración de restricciones



Fuente: Elaboración propia

2.7 Selección y ponderación de los criterios

Este apartado consiste en clasificar los criterios por orden de importancia, es decir, si tenemos n criterios se asigna el número 1 al criterio que considere más importante, el número 2 al criterio siguiente en importancia y así sucesivamente. Ver tabla 14.

Por otro lado, es frecuente en estudios del territorio la necesidad de establecer jerarquías y pesos a los factores que finalmente van a ser considerados en la regla de decisión; para ello se utiliza el Método de Comparación Por Pares (Saaty, 1980), comúnmente conocido en la literatura como Analytic Hierarchy Process (AHP) o Método de Jerarquías Analíticas, siendo este una metodología útil para la EMC y que ha tenido un amplio uso; en ella, el decisor provee sus preferencias relativas (en términos de asignación de pesos de importancia) a las distintas alternativas por medio de una serie de comparaciones entre pares de factores, con las que se forma una matriz de comparación. Es decir, se establecen las prioridades o importancia relativa (a_{ij}) ya sea de las alternativas o de los factores comparándolos en un juicio de valor. En este caso, se puede usar la escala de medida que se muestra a continuación.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extrema	Fuerte	Moderada	Igual	Moderada	Fuerte	Extrema		
Menos importante				Más importante				

Tabla 14. Nivel de importancia de criterios.

Nivel	Criterios	Peso
1	Pendiente	0.2578
2	Edafología	0.2242
3	Geología	0.1642
4	Urbano	0.1151
5	Cercanía vial	0.0804
6	Escuelas	0.0561
7	Hospitales	0.0392
8	Centros de salud	0.0277
9	Uso de suelo	0.0200
10	Pozos	0.0152

Fuente: Elaboración propia

2.8 Regla de decisión

Es el procedimiento por el cual se eligen y combinan los criterios para llegar a una evaluación particular, y donde las evaluaciones son comparadas y aplicadas se conoce como una regla de decisión.

Se propone trabajar con el método de sumatoria lineal ponderada. Se trata de uno de los métodos más empleados por ser sencillo, intuitivo y de fácil implementación. La obtención del nivel de adecuación de cada alternativa se halla sumando el resultado de multiplicar el valor de cada criterio por su peso:

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}$$

Donde:

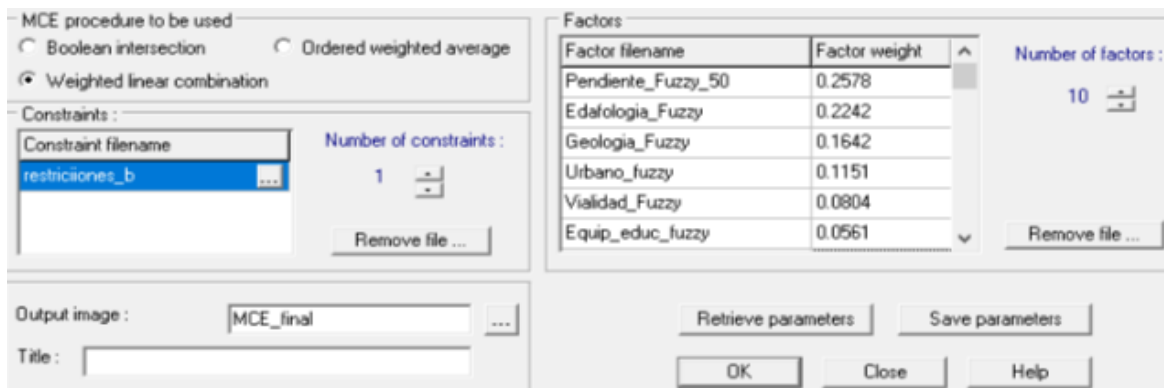
r_i es el nivel de adecuación de la alternativa i

w_j es el peso del criterio j

v_{ij} es el valor ponderado de la alternativa i en el criterio j

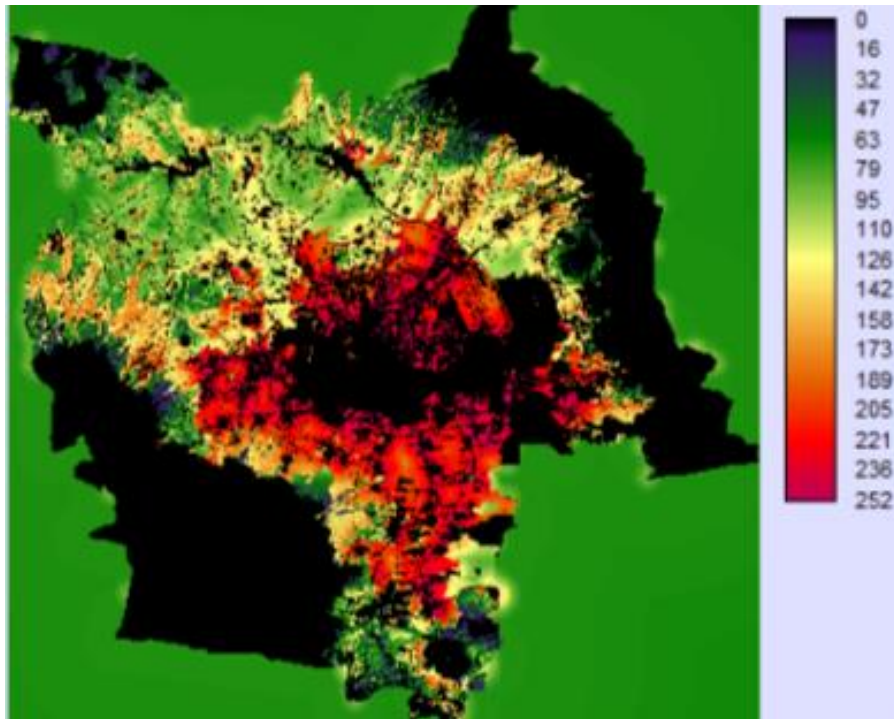
Con la herramienta de superposición del MCE de Terrset, que lleva a cabo el proceso de decisión de sumatoria lineal ponderada, el cual debe indicarse las capas a introducir y el peso de cada una obtenida con el método de Saaty, dentro del mismo se integran las capas de restricciones que limita las áreas que no pueden ser urbanizables. Ver figura 18.

Figura 18. Evaluación multicriterio



Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Resultado de Evaluación Multicriterio



Fuente: Elaboración propia

Como resultado se obtiene un mapa con valor de 0 a 255 (Ver figura 19); se realizó una clasificación reteniendo todos aquellos pixeles cuyo valor de adecuación alta estuviera entre los 20 primeros, los siguientes 20 con valor de adecuación moderada y así sucesivamente como se muestra en la siguiente tabla que establece las categorías de orden que refleja si un suelo es óptimo o no para un uso concreto. Ver tabla 15.

Tabla 15. Categorías de orden.

Alta	Sin limitaciones para el uso, o limitaciones de menor cuantía que no afectan ni aumentan considerablemente los costos.
Moderada	Limitaciones moderadamente graves, que reducen los beneficios, o implica riesgos de pérdidas mínimas.
Marginal	Las limitaciones para el uso son graves y la balanza entre costos y beneficios hace que su utilización solo se justifique de manera marginal.
No apta actualmente	Tierras cuyas limitaciones podrían eliminarse con medios técnicos o insumos, pero estas modificaciones en la actualidad son impensables.
No apta permanentemente	Limitaciones graves, de índole generalmente físicas, que se suponen insalvables a largo plazo.

Fuente: Secretaria de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).

Capítulo III. Resultados

3.1 Análisis histórico de cambio

Es conveniente mencionar que el apartado de resultados que a continuación se aborda, se centra solamente en los cambios de uso urbano con el fin de conocer la dinámica y las transiciones de los diferentes usos hacia urbano.

Es evidente que se han generado diferentes cambios en los usos de la ZMT, así que, al analizar la dinámica de estos, se tiene que, la tendencia de los cambios fue en aumento sobre todo para el uso agrícola, forestal, urbano como se muestra en la siguiente tabla. Ver tabla 16.

Tabla 16. Matriz de cambios 2000 - 2018.

		T ₂							
		Agricultura	Cuerpos de agua	Forestal	Humedal	Pastizal	Urbano	Total	Pérdida
T ₁	Agricultura	125,478.4	294.8	3,449.8	967.0	963.4	15,750.5	146,903.8	21,425.4
	Cuerpos de agua	438.8	1,733.6	57.8	114.0	2.6	22.4	2,369.2	635.6
	Forestal	5,741.5	254.4	55,442.7	7.6	2,330.7	648.9	64,425.8	8,983.1
	Humedal	57.7	6.3	13.9	1,638.3	6.9	50.7	1,773.7	135.5
	Pastizal	371.6	1.3	750.3	1.4	3,009.8	248.9	4,383.2	1,373.4
	Urbano	2,678.2	17.8	123.1	0.9	84.8	18,236.1	21,140.9	2,904.8
	Total	134,766.1	2,308.2	59,837.6	2,729.1	6,398.2	34,957.4	240,996.5	35,457.8
	Ganancia	9,287.7	574.7	4,394.9	1,090.8	3,388.4	16,721.3	35,457.8	

Fuente: Elaboración propia

Es de subrayar que la pérdida de zonas agrícolas ha sido en su mayoría ocupado por asentamientos urbanos, en la siguiente tabla se muestran las pérdidas y ganancias y persistencia, donde solo haremos énfasis en la dinámica urbana.

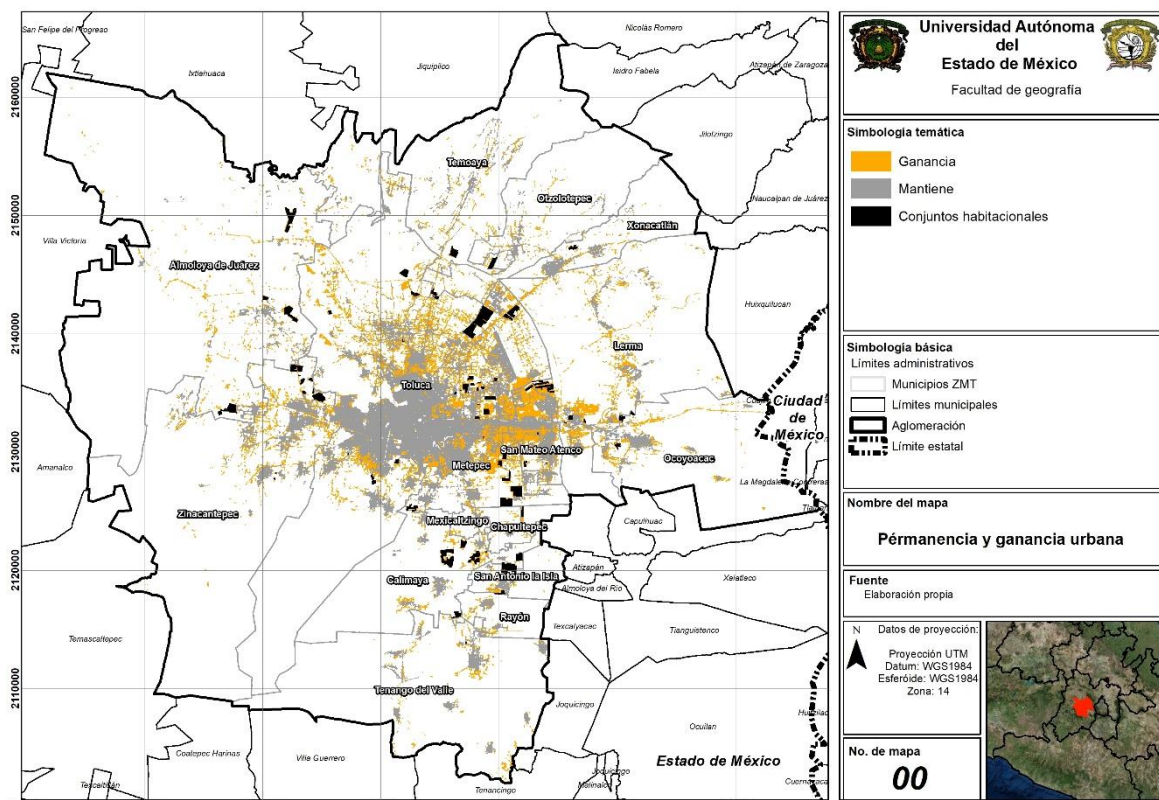
Tabla 17. Transiciones ocurridas en 2000 a 2018.

	Ganancias	%	Pérdidas	%	Cambio total	%
Agricultura	9287.73	3.9	21,425.4	8.9	30,713.1	12.7
Cuerpos de agua	574.65	0.2	635.6	0.3	1,210.2	0.5
Forestal	4394.88	1.8	8,983.1	3.7	13,378.0	5.6
Humedal	1090.8	0.5	135.5	0.1	1,226.3	0.5
Pastizal	3388.41	1.4	1,373.4	0.6	4,761.8	2.0
Urbano	16721.28	6.9	2,904.8	1.2	19,626.1	8.1
TOTAL	35457.75	14.7	35,457.8	14.7	35,457.8	14.7

Fuente: Elaboración propia

Como mencionamos, la ganancia de zonas urbanas sobre otros usos ha sido de 16,721 has, equivalente al 6.9 % respecto al área total de la ZMT y un crecimiento del 79 % en base al área urbana del año 2000 que para este año contaba con 21,140.9 has. y para 2018 de 34,957.4 has. Ver tabla 17 y mapa 1.

Mapa 1. Permanencia y ganancia urbana

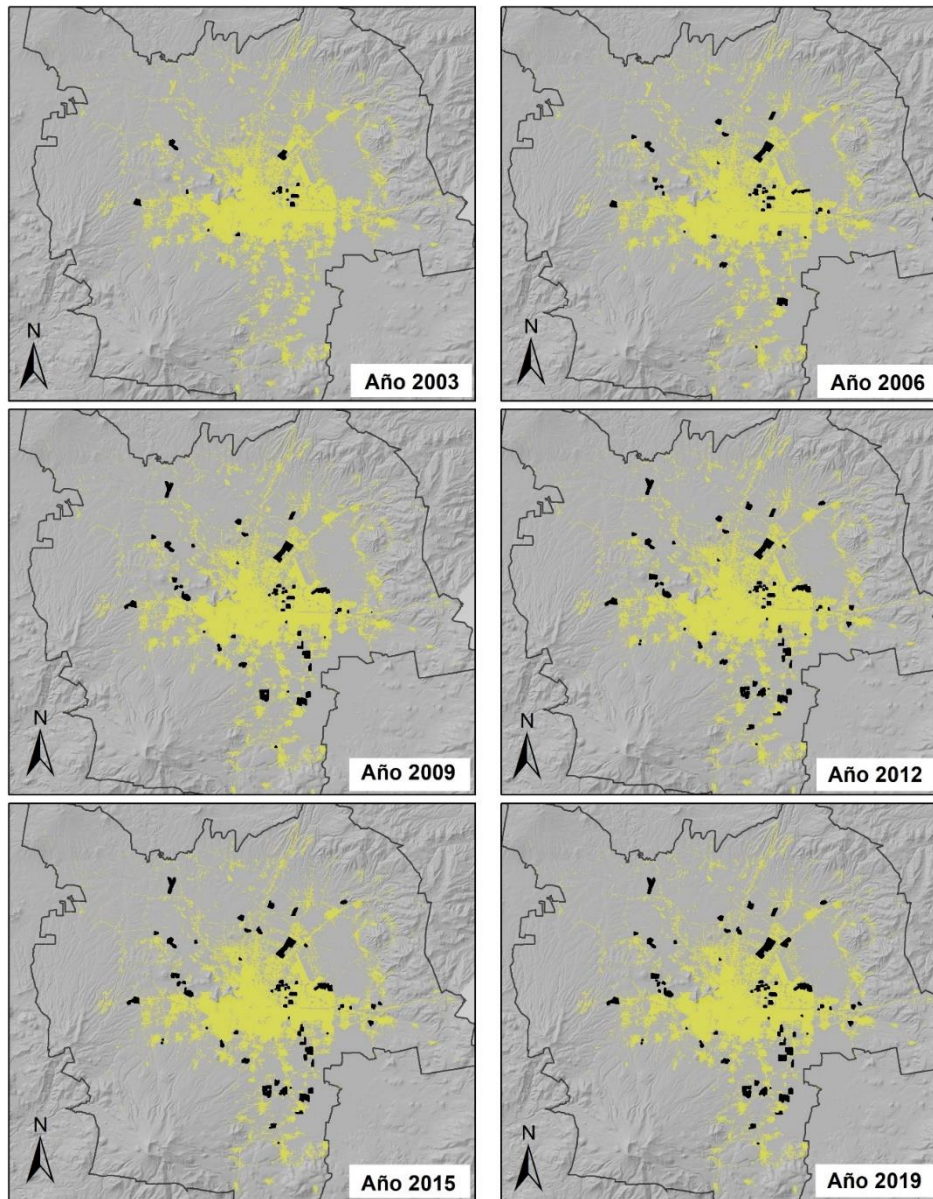


Fuente: Elaboración propia

3.2 Distribución actual

La base de datos de la secretaria de desarrollo urbano y metropolitano, presenta autorizaciones desde enero de 1999, en el caso de la ZMT indica que el primer conjunto urbano registrado en la base, se autorizó en 2001 fue sin duda el inicio de la fuerte intervención del sector privado. Ver figura 20.

Figura 20. Evolución de las autorizaciones de conjuntos urbanos, 2000-2019



Fuente: Elaboración propia

La aportación de los conjuntos urbanos ha generado un crecimiento y expansión de la ZMT, repercutiendo en cada uno de los municipios que la integra, se puede decir que la mancha urbana está siendo sujeta a un proceso de modificación, caracterizado principalmente por el desarrollo de viviendas a través del conjunto urbano habitacional como se muestra en la siguiente tabla, el municipio de Toluca y Almoloya de Juárez juntos representan casi el 50% de las viviendas construidas con respecto al total, seguidos de Calimaya, Zinacantepec, y Lerma con 9.9%, 8.4% y 7.2% respectivamente, los municipios de Metepec, Temoaya y San Antonio la Isla están entre los 6%, el resto de los municipios con porcentajes menores. Ver tabla 18.

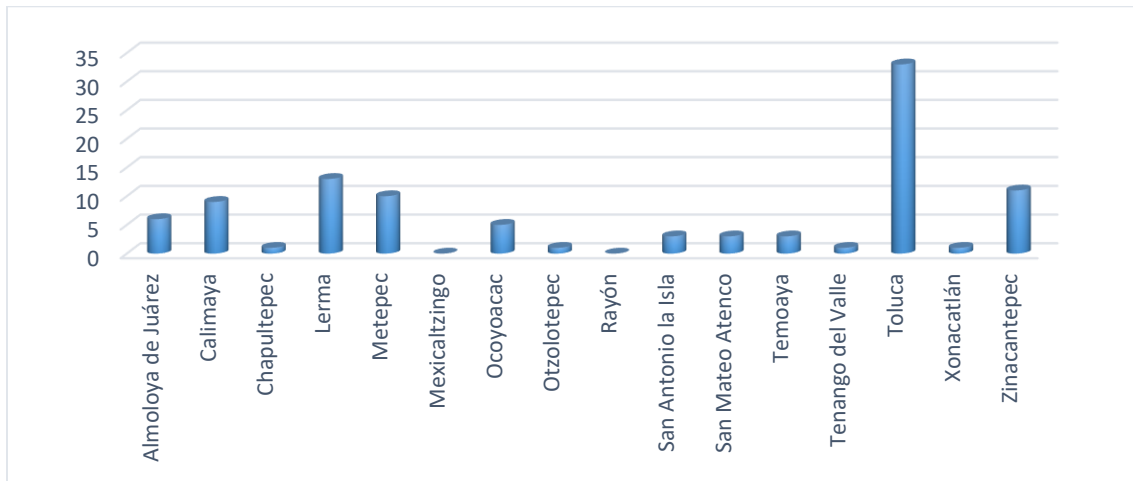
Tabla 18. Conjuntos urbanos autorizados y total de viviendas por municipios de 2001-2019.

No. conjuntos urbanos por municipio		No. viviendas por municipio		
Municipio	Conjuntos Urbanos	Municipio	Número de viviendas	% viviendas
Toluca	33	Toluca	33,178	27.6
Lerma	13	Almoloya de Juárez	25,273	21.1
Zinacantepec	11	Calimaya	11,839	9.9
Metepec	10	Zinacantepec	10,037	8.4
Calimaya	9	Lerma	8,634	7.2
Almoloya de Juárez	6	Temoaya	7,743	6.5
Ocoyoacac	5	Metepec	7,454	6.2
San Antonio la Isla	3	San Antonio la Isla	7,280	6.1
San Mateo Atenco	3	Ocoyoacac	3,594	3.0
Temoaya	3	Chapultepec	2,488	2.1
Chapultepec	1	Xonacatlán	1,298	1.1
Otzolotepec	1	San Mateo Atenco	973	0.8
Tenango del Valle	1	Tenango del Valle	222	0.2
Xonacatlán	1	Mexicaltzingo	0	0
Mexicaltzingo	0	Otzolotepec	0	0
Rayón	0	Rayón	0	0
Total	100		120,013	100

Fuente: Elaboración propia con base en las estadísticas de conjuntos urbanos publicadas por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Estado de México, disponible en: <http://seduym.edomex.gob.mx/autorizaciones>

De la gráfica siguiente, se deduce que la cantidad de conjuntos no es precisamente un indicador directo de la cantidad de viviendas autorizadas en cada municipio. En algunos, el número de conjuntos es bastante menor que en Toluca, no así el número de viviendas. Ver gráfica 1.

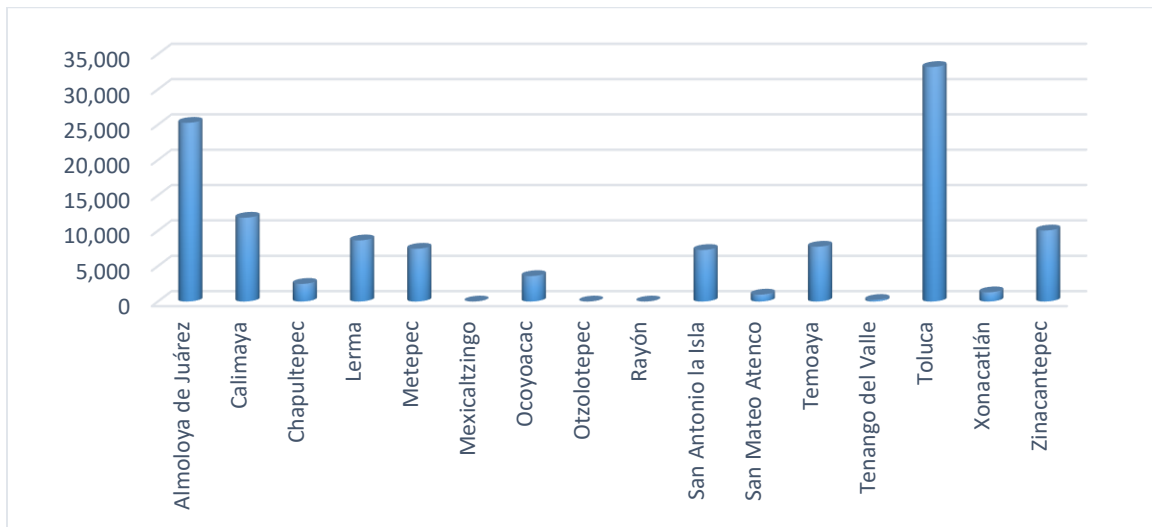
Gráfica 1. Número de conjuntos urbanos por municipio



Fuente: Elaboración propia con base a datos de la secretaria de desarrollo urbano y metropolitano del estado de México

Es el caso, por ejemplo, de Almoloya de Juárez, con tan sólo seis conjuntos autorizados, y un total de 25,273 viviendas; o los casos de San Antonio la Isla o Temoaya, donde en tan sólo tres conjuntos respectivamente se concentran más de 7 mil viviendas; esto indica que los conjuntos que se han autorizado allí son espacios residenciales grandes o muy grandes, en municipios cuya área urbana es bastante menor que la del municipio central. Ver gráfica 2.

Gráfica 2. Número de viviendas por municipio.



Fuente: Elaboración propia con base a datos de la secretaria de desarrollo urbano y metropolitano del estado de México

3.3 Aptitud para el desarrollo de nuevos conjuntos habitacionales

El mapa que a continuación se muestra, es resultado de la combinación de criterios de aptitud a través de una regla de decisión de sumatoria lineal ponderada; Es notorio en el mapa las grandes áreas de restricción originados a consecuencia de la expansión acelerada de la mancha urbana, ya que es muy evidente el crecimiento de la ZMT en los periodo de 2000 a 2018 teniendo como aumento de 13,857 hectáreas, por otro lado esta expansión viene acompañado del desarrollo de conjuntos habitacionales siendo una influencia determinante en el proceso de la expansión urbana.

Se muestra en color rojo las zonas óptimas para la localización de conjuntos habitacionales que están concentradas en los espacios que ha dejado la misma expansión, conocidos como vacíos urbanos, siendo áreas ideales por la cercanía a los servicios básicos, equipamiento, además de la contigüidad con lo urbano consolidado.

Le siguen las áreas con aptitud moderada en color anaranjado, donde las limitaciones son ligeras que reducen los beneficios y se generan pérdidas mínimas,

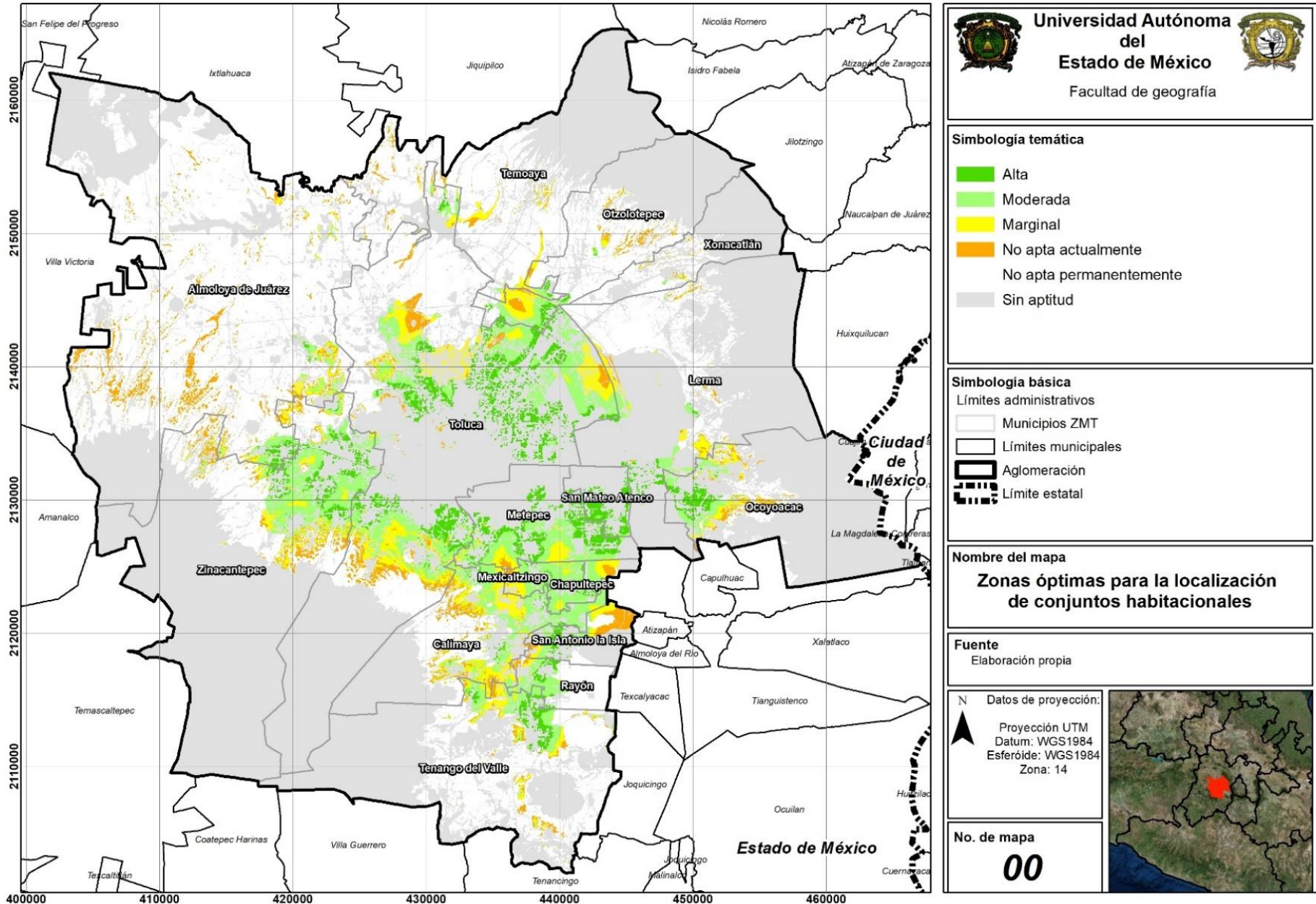
sin embargo, aún tiene cercanía con el área urbana, los servicios y equipamiento no han disminuido considerablemente.

Para el caso de las áreas marginales, disminuyen los servicios y equipamiento, además que está distanciada de la mancha urbana, aumentando el tiempo de traslado al centro urbano.

Vemos que las áreas no aptas actualmente no cumplen con los requerimientos necesarios, pero son suelos baratos al estar alejados, y el costo para un desarrollador aumenta.

Los suelos no aptas permanentemente tampoco cumplen con los requerimientos, no es muy viable el desarrollo de conjuntos por la lejanía, limitación de servicios, equipamiento y condiciones físicas del terreno. Ver mapa 2.

Mapa 2. Zonas óptimas para nuevos conjuntos habitacionales



Se cuantificaron las categorías; se observa que el municipio de Toluca y Metepec tienen mayores áreas de aptitud para el desarrollo de conjuntos habitacionales, el primero cuenta con 41.8% con respecto al total de la aptitud alta, el segundo cuenta con 15.6%, le sigue Zinacantepec con 10% y el resto con un porcentaje menor de los 6%.

Para la aptitud moderada, Toluca se encuentra por encima de los demás con 28.9% con respecto al total moderada, le sigue Zinacantepec con 16.2%, después Calimaya con 12.8%, para el caso de los otros municipios el área moderada se encuentra por debajo de los 10%.

Toluca cuenta con aptitud marginal siendo de 29% con respecto al total de la marginal, seguido de Calimaya con 14.7%. Con áreas no aptas actualmente como primer lugar se encuentra Almoloya de Juárez, seguido de Toluca con 18.6% y Zinacantepec con 12.3% el resto están por debajo del 10%. Ver tabla 19.

Tabla 19. Cuantificación de categorías por municipio.

Categoría	Alta	%	Moderada	%	Marginal	%	No actualmente	%	No permanentemente	%
Municipio										
Almoloya de J.	182	2.7	431	3.6	388	5.5	1,672	27.9	31,038	41.3
Calimaya	108	1.6	1,530	12.8	1,031	14.7	515	8.6	2,254	3.0
Chapultepec	64	0.9	492	4.1	171	2.4	61	1.0	50	0.1
Lerma	164	2.4	296	2.5	317	4.5	131	2.2	4,484	6.0
Metepec	1,056	15.6	1,125	9.5	407	5.8	54	0.9	5	0.0
Mexicaltzingo	52	0.8	532	4.5	229	3.3	40	0.7	3	0.0
Ocoyoacac	336	5.0	406	3.4	303	4.3	298	5.0	1,141	1.5
Otzolotepec	168	2.5	304	2.5	420	6.0	332	5.5	4,150	5.5
Rayón	128	1.9	398	3.3	77	1.1	35	0.6	1,250	1.7
San Antonio la Isla	143	2.1	243	2.0	201	2.9	334	5.6	261	0.3
San Mateo A.	448	6.6	62	0.5	1	0.0	0	0.0	0	0.0
Temoaya	34	0.5	84	0.7	277	3.9	287	4.8	9,042	12.0
Tenango del V.	375	5.5	627	5.3	446	6.3	331	5.5	7,239	9.6
Toluca	2,824	41.8	3,440	28.9	2,038	29.0	1,115	18.6	8,320	11.1
Xonacatlán	1	0.0	11	0.1	20	0.3	48	0.8	1,352	1.8
Zinacantepec	677	10.0	1,926	16.2	697	9.9	737	12.3	4,567	6.1
Total	6,761	100.0	11,908	100	7,022	100	5,992	100	75,156	100.0

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla (Ver tabla 20) muestra el total de conjuntos urbanos por municipio, a su vez se desglosan el número de conjuntos que corresponde a la categoría de aptitud con respecto al modelo realizado; en otras palabras, la tabla muestra la situación actual de los conjuntos habitacionales actuales con respecto al modelo de aptitud mostrando el orden de jerarquía en la que se encuentra.

El municipio de Toluca concentra el mayor número de conjuntos urbanos siendo un total de 33, sin embargo, 25 de estos conjuntos se encuentran dentro de la aptitud alta, 4 conjuntos en aptitud moderada y 4 en aptitud no apta permanentemente.

El mayor número de conjuntos urbanos para los municipios de Toluca, Lerma y Metepec se localizan en zonas óptimas, es decir que cumplen con los requerimientos necesarios establecidos en el modelo.

Tabla 20. Situación actual de los conjuntos urbanos de la ZMT.

Municipio	Total, conjuntos	Aptitud	Situación de conjuntos
Almoloya de Juárez	6	Moderada	2
		No apta permanentemente	4
Calimaya	9	Moderada	8
		Marginal	1
Chapultepec	1	Moderada	1
Lerma	13	Alta	12
		Moderada	1
Metepec	10	Alta	5
		Moderada	3
		Marginal	2
Ocoyoacac	5	Alta	1
		Moderada	3
		Marginal	1
Otzolotepec	1	No apta permanentemente	1
San Antonio la isla	3	Alta	3
San mateo Atenco	3	Alta	3
Temoaya	3	No apta permanentemente	3
Tenango del valle	1	Alta	1
Toluca	33	Alta	25
		Moderada	4
		No apta permanentemente	4
Xonacatlan	1	No apta permanentemente	1
Zinacantepec	11	Alta	3
		Moderada	7
		Marginal	1

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El análisis multicriterio como herramienta muy poderosa junto con los sistemas de información geográfica pueden generar buenos resultados, siempre y cuando se tome en cuenta el orden de importancia de las variables para obtener un buen producto, además, la implementación de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica, permite abordar eficientemente diversos problemas de carácter territorial, lo que representa un gran potencial metodológico y técnico para el ordenamiento territorial.

Este tipo de proyectos es de gran apoyo para las empresas inmobiliarias, ya que al tener una mala planeación en la ubicación de los conjuntos puede acarrear varios problemas, físicos, sociales y como consecuencia el abandono del mismo.

El modelo pudo detectar que el 53% de los conjuntos habitacionales autorizados del periodo 2000 – 2018, se desarrollaron dentro de los espacios o vacíos urbanos, siendo áreas óptimas por la cercanía de los servicios, equipamiento y centro urbano.

Por otro lado, el 13 % de los conjuntos según el modelo no cumplen con los criterios necesarios, esto puede provocar una serie de problemas desde el abandono de la vivienda, inseguridad, falta de servicios y/o lejanía las fuentes de empleo.

La expansión residencial.

Queda demostrado que la expansión urbana en la Zona Metropolitana de Toluca se encuentra en pleno desarrollo. Este es un proceso de expansión que ha reemplazado y que reemplazará progresivamente mayores cantidades de terrenos ocupados anteriormente por coberturas vegetales naturales o semi naturales, es decir que estaban siendo ocupadas por vegetación, zonas agrícolas o incluso eran zonas urbanas y se han visto reacomodadas para dar paso a los famosos conjuntos habitacionales.

De persistir la tendencia de crecimiento urbano y de la población en la ZMT se acrecentará el patrón urbano y la pérdida de suelo con aptitudes para uso agrícola, lo que agudizará el consumo de recursos.

Bibliografía

- A. Figueroa, R. (1993). Sistemas de información geográfica: Algunas aplicaciones en planificación y gestión urbana. *Revista de Geografía Norte Grande*, 25.
- Arango Miranda, A. (2013). Desarrollo urbano y grandes conjuntos habitacionales. En *Los Conjuntos Habitacionales como Agente de Densificación Masiva de Periferia en la Ciudad de México: Ixtapaluca* (pág. 8). Ciudad de México.
- Bosque Sendra, J. (2006). *Los Sistemas de Información Geográfica en el Estudio de los Problemas Sociales y Territoriales*. Universidad de Alcalá, España.
- Collazos, R. (2005). *Escenarios de crecimiento urbano en el municipio*. UMSS-CLAS: Tesis de maestría profesional en información de suelos para el manejo de recursos naturales.
- CONAVI. (2016). *Criterios de entorno para la vivienda social en México*.
- Daga López, R. A. (2009). *Determinación de áreas con aptitud para la expansión urbana con fines de ordenamiento territorial aplicando el análisis espacial multicriterio: caso: cuenca baja del río Lurín*. Lima, Perú.
- Esquivel, M. (2006). "Política habitacional y calidad de vida: imácto de los nuevos desarrollos habitacionales" en CESOP, 2006; La vivienda en México; construyendo análisis y propuestas, México: cnetro de estudios sociales y opinión pública.
- Garcés Ortega, J. H. (S/F). Aplicación de Evaluación Multicriterio y sistemas de Información Geográfica para el modelo de capacidad acogida para la localización de viviendas de mediana densidad. Caso de estudio Cuenca del rio Guadalajara. Universidad del valle.
- García Estarrón, E. J. (2008). *El proceso de expansión urbana en el uso de suelo y vegetación en el municipio de Juárez Chihuahua*. Tijuana.
- Gopar Chávez, M. E. (2004). Forma de organización de los asentamientos irregulares en la sierra Santa Catarina: estudio de caso (predio lomas del paraíso). Universidad Autónoma Metropolitana Unidad de Iztapalapa, México.
- Jiménez Sánchez, P. L., Calderón Maya, J. R., & Campos Alanís, H. (2015). Desarrollo habitacional fragmentado y movilidad urbana en la zona metropolitana de Toluca. *20° Encuentro Nacional Sobre Desarrollo Regional en México*. Cuernavaca, Morelos: AMECIDER-CRIM, UNAM.
- Limón Acosta, F. (2013). Determinación de zonas óptimas para suelo urbanizable, utilizando evaluación multicriterio y SIG, en el municipio de Ocoyoacac, Estado de México. Toluca, UAEMéx.
- Maskrey, A. (1998). *Navegando entre Brumas, La Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al Análisis de riesgos en América Latina*. RED.
- Molina, J., Martínez, O., & otros, y. (2013). Áreas de expansión urbana en Toavar, Mérida-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 241.

- Pacheco Juárez, J. A. (2013). *Equipamiento de conjuntos urbanos. La oferta autorizada y no autorizada en el caso de los Sauces IV, Toluca*. Toluca.
- Pontius, R., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 251-268.
- Rolf, A. (2003). Principles of Geographic Information Systems, ITC Serie de Textos educativos, Segunda edición. 33-42.
- SEDATU. (2017). *Guía Metodológica: Elaboración y actualización de programas municipales de desarrollo urbano*. México.
- SEMARNAT, INE. (2000). Ordenamiento Ecológico General del Territorio: memoria técnica 1995-2000. *Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental*, 540.